

# ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY 劳伦斯伯克利国家实验室

---

## 玻璃行业提高能效与 节约成本的机会

能源与工厂管理人员使用的“能源之星”指南

**Ernst Worrell, Christina Galitsky,  
Eric Masanet, Wina Graus**  
环境能源技术部能源分析处

**2008 年 3 月**

本项工作作为“能源之星”计划的一部份，通过美国能源部，获得能源基金会与美国环保署的资助，以及陶氏化学公司慈善捐款的资助，合同编号为 DE-AC02-05CH11231。

## 免责声明

本文件编写工作由美国政府资助。同时，虽然本文件中的信息被认为是准确的，但是无论是美国政府或是其机构，加州大学董事会或是其雇员都既不对文件的准确性，完整性，信息的有用性，仪器，产品，以及披露的过程，或是其使用不侵犯私有权进行明示或暗示的保障，也不负法律责任。此处提到的任何具体商业产品，过程或有商标名称，商标，制造商名的服务，并不一定构成或暗示美国政府或其机构，加州大学董事会的认可，推荐，或偏袒其使用。作者在这里表示的观点和意见，并不一定代表美国政府及其机构，或加州大学董事会。

劳伦斯伯克利国家实验室是一个机会均等的雇主。

# 玻璃行业提高能效与节约成本的机会

## 能源与工厂管理人员使用的“能源之星”指南

Ernst Worrell, Christina Galitsky, Eric Masanet, Wina Graus

能源分析处

环境能源技术部

劳伦斯伯克利国家实验室

### 摘要

美国玻璃行业包含四大部门—平板玻璃、瓶罐玻璃、特殊玻璃与玻璃纤维—这些部门每年总共消耗约 16 亿美元的能源。平均来说，美国玻璃行业的能源支出占了总玻璃生产成本的 14%左右。因此提高能效是降低用能成本并增加可预期收益的重要手段，尤其是能源价格波动幅度很大时。美国玻璃制造厂可采用多种富有成本效益的方法来降低能耗量。本能效指南介绍的节能做法与节能技术，可以运用在设备组件、工艺、系统与整个组织单位；本指南同时也介绍美国玻璃行业的发展趋势、结构与用能特色，以及生产玻璃的主要工艺步骤；另外也提供多种节能措施的预期节能量与节约成本，数据来源是根据目前正在采用这些措施的玻璃制造厂与全球有关工业的真实案例。同时，本指南对节能措施的投资回收期与更深入的技术参考文献，也有介绍。提供这些信息的目的在于帮助美国玻璃行业的能源管理人员与工厂管理人员，采用划算的方法来降低能耗量，同时维持产品的质量。有关这些措施隐含的经济效益与这些措施能否运用至不同的生产方法，必须另作深入研究，以便评估各家工厂采用特定节能技术的潜力。

# 目录

摘要.....	i
1. 引言 .....	1
2. 美国玻璃行业 .....	3
3. 工艺介绍.....	8
4. 玻璃生产用能 .....	14
5. 提高能效的机会.....	23
5.1. 能源管理系统与计划 .....	26
5.2. 压缩空气 .....	29
5.3. 电机 .....	38
5.4. 照明 .....	44
5.5. 热能与蒸汽配送 .....	48
5.6. 其他跨工艺流程的节能措施 .....	53
5.7. 准备配合料 .....	55
5.8. 玻璃熔窑 .....	60
5.8.1. 改变既有玻璃熔窑 .....	60
5.8.2. 熔窑设计 .....	67
5.8.3. 全氧燃烧熔窑 .....	68
5.8.4. 碎玻璃的使用及预热 .....	72
5.8.5. 电炉 .....	75
5.9. 前炉及成型 .....	76
5.10. 退火与后加工 .....	78
5.11. 新兴技术 .....	80
6. 摘要与结论 .....	83
7. 参考文献.....	85
8. 语汇表 .....	102
附录一：美国重点玻璃工厂所在地.....	105
附录二：工厂员工可采行的基本节能作法 .....	109
附录三：能源管理评估标准导则 .....	110
附录四：能源管理团队成立应办事项检查表.....	114
附录五：提高工业能效的配套方案.....	116

## 1. 引言

美国制造商面对全球竞争日益激烈的商业环境时，均会寻找降低生产成本但不至于降低产量或影响质量的机会。目前能源价格波动剧烈，亦会对企业的预期营收带来负面影响，这对已公开上市的美国玻璃企业尤其要紧。不管是上市企业或非上市企业，持续走高的能源价格在推升生产成本的同时，也会降低产品的附加价值。例如，玻璃行业工艺流程使用的燃料为天然气，所以当 2000 年天然气价格历经季节性攀升时，对该行业形成的打击相当大(James 2001)。

要解决维持产品质量并降低生产成本这个难题，可通过投资节能技术与措施来达成。节能技术通常会带来其他的好处，如提高质量、产量与工艺效率，进而提高生产力。能源效率也是一家企业环境战略重要的一环，因为能效提高后，污染物的排放量通常也会随之降低。完备的能源管理计划可作为企业温室气体管理计划的坚实基础，也可作为迈向所谓“三重底线”的一个有效战略，即经商着重社会、经济与环境等三个层面<sup>1</sup>。简言之，在当前的制造业环境下，在提高能效上进行投资，是商业良策。

美国联邦政府已制定多项自愿计划，通过提高能效并降低环境冲击的做法，来协助产业提高竞争力。“能源之星”(ENERGY STAR<sup>®</sup>) 是美国环保署(EPA)与美国能源部(DOE)合作的一项自愿性计划，该计划强调企业必须要有完备、具战略性的能源管理计划。能源之星包含多个能源管理工具与战略，用于协助企业顺利地实施能源管理计划，本指南是美国环保署能源之星计划针对玻璃生产能效进行的研究报告，通过与美国玻璃行业的合作，共同找出可提高能效的信息与资源。更多有关能效之星的信息，以及有助企业实施能源管理的多个工具，请上网址 [www.energystar.gov](http://www.energystar.gov)。

本指南对玻璃工厂提高能效的机会做了评估。美国玻璃行业包括生产平板玻璃、瓶罐玻璃、特殊玻璃与玻璃纤维的制造商。这四大部门每年生产 2 千多万吨的玻璃，产值超过 160 亿美元。玻璃生产是美国高能耗产业之一；2003 年的能源支出约 16 亿美元，占该行业总生产成本的 14%左右。玻璃行业消耗的一次能源约占美国工业能耗的 1%。本指南将介绍降低成本提高能效的机会。

---

<sup>1</sup>“三重底线”的概念是由世界可持续发展工商理事会(WBCSD)导入。因为社会发展要靠经济，而经济发展要靠全球的生态体系，而生态体系是否健康则代表着最终的底线，所以“三重底线”的三个层面是环环相扣的。

本指南首先将介绍美国玻璃行业的发展趋势、结构与生产特色，之后摘要说明玻璃工厂使用的主要生产工艺、使用的燃料种类、能源的主要终端用途，其他篇幅将讨论美国玻璃工厂提高能效的机会，并将重点放在一些已获美国境内境外工厂证实有效的节能措施与技术。

虽然新技术不断地推陈出新(见 Martin et al. 2000)，本指南的重点只放在目前已获证实有效且已商业化的技术措施。在这些技术当中，有些技术相当有发展潜力，有些目前仍处研发阶段，这些我们将在第 5.11 节介绍。

本指南可作为能源管理人员与决策者为企业与工厂制定充分有效的能源管理计划的参考。

## 2. 美国玻璃行业

美国玻璃行业制造的产品种类相当多，包括食品饮料瓶罐、隔热玻璃纤维、汽车与建筑窗户、视频显示器、烹饪用具与灯泡。美国玻璃行业一年生产约 2000 万吨的玻璃，占全球玻璃产量的 20%(GMIC 2004)。美国生产的玻璃可分成四大部门—平板玻璃、瓶罐玻璃、特殊玻璃与玻璃纤维，表 1 为摘要<sup>2</sup>。2003 年这四大部门的总发货量价值逾 160 亿美元，直接雇用员工 70000 名(U.S. Census 2005a)。

表 1. 美国玻璃行业的重点部门与典型产品

部门	标准产业分类 (SIC)	北美产业分类体系 (NAICS)	重点产品
平板玻璃	3211	327211	用于住宅与商业建筑、汽车、桌面与镜子的平板玻璃与浮法玻璃。
瓶罐玻璃	3221	327213	用于食物、饮料、日用化学品、药物与化妆品的包装。
特殊玻璃	3229	327212	用于餐具、炊具、照明、电视机、液晶显示屏、实验室设备、光纤通信等的压制与吹制玻璃。
玻璃纤维 <sup>3</sup>	3296	327993	用于建筑、屋顶与镶板的隔热玻璃纤维(玻璃棉)，
	3229	327212	用于建筑、交通运输与水产业的纺织纤维与塑料强化纤维。

美国玻璃行业可称得上是个综合产业，每个行业部门的生产多半控制在少数几个大型制造商的手中。美国生产玻璃的地方大多集中在主要的人口中心，因为消费者大多集中在这些地方，且运送原料与成品玻璃的费用相当高。表 2 列出美国主要玻璃制造厂所在的位置(National Glass Budget 2004)，玻璃制造厂家数最多的前几个州包括俄亥俄州、宾州、加州、德州、纽约州、肯塔基州和北卡罗莱纳州。本能源指南的附录有美国主要玻璃厂的完整名单，依据州别与产业部门加以分类。

就占出货的百分比而言，玻璃生产行业为美国的高能耗行业之一(U.S. DOE 2004a)。2003 年这四大玻璃部门共计花费 16 亿美元在能源采购上，占出货总值的 10%(U.S. Census 2005a)。2002 年美国玻璃行业消耗的一次能源估计为 331 兆 Btu(TBtu)(见第四

<sup>2</sup> 玻璃工业还包含第五部门—将购进的玻璃再加工制成的玻璃 (NAICS 327215, SIC 3231)—即购买其他四大玻璃部门制造的玻璃作为原料，而不是从最基础的原料头开始生产。本指南介绍的玻璃部门仅限于含有将原料转化为熔制玻璃的工艺的玻璃部门。

<sup>3</sup> 玻璃纤维包含两大类：隶属“矿物棉”类别(北美产业分类体系 327993)的隔热玻璃纤维(玻璃棉)，以及隶属“压制与吹制玻璃”(特殊玻璃)类别的(北美产业分类体系 327212)纺织/强化纤维。

章)。消耗的能源大多为天然气，用在玻璃熔窑与工艺加热设备上。玻璃生产同时也是资本密集工业，部份原因是玻璃熔窑每 8 年至 12 年就要重建一次。

表 2. 美国主要玻璃厂分布地点

州	主要工厂家数	州	主要工厂家数
阿肯色州	1	北卡罗莱纳州	7
亚利桑那州	3	新罕布什尔州	2
加州	12	新泽西州	4
科罗拉多州	1	纽约州	9
佛罗里达州	1	俄亥俄州	15
乔治亚州	6	俄克拉荷马州	5
艾奥瓦州	1	俄勒冈州	1
伊利诺伊州	6	宾夕法尼亚州	12
印地安那州	5	南卡罗来纳州	5
堪萨斯州	5	田纳西州	5
肯塔基州	8	德州	10
路易斯安那州	2	犹他州	1
马萨诸塞州	1	弗吉尼亚	7
密歇根州	3	华盛顿州	2
明尼苏达州	1	西弗吉尼亚州	3
密西西比	1	威斯康星州	3
密苏里州	1		

来源：National Glass Budget (2004)

虽然美国生产玻璃的大多数是内销，外销市场也相当可观。2003 年，四大部门的总出口量接近 27 亿美元，占出货总值的 17%(U.S. Census 2005b)。出口对平板玻璃部门尤其重要，其出货总值有 28%为出口(GMIC 2004)。

瓶罐玻璃部门一年产量约 1000 万吨，是美国玻璃行业产量最大的。Owens-Illinois、Saint-Gobain Containers 与 Anchor Glass Containers 三家制造商的产量占美国瓶罐玻璃产量 95%以上(GMIC 2004)。玻璃瓶罐产品的材质大多为打火石(64%)、琥珀(23%)，其余为绿色玻璃(13%) (GMIC 2002)。主要市场在啤酒罐(53%)、食品包装(21%)、非酒精饮料瓶(10%)与酒瓶(6%)(Cattaneo 2001)。在这些市场，玻璃与其他材料如塑胶、铝与钢彼此间的竞争相当剧烈。

2003 年美国玻璃厂直接雇用的员工人数为 15000 多人，出货值为 44 亿美元(U.S. Census 2005a)。2002 年美国瓶罐玻璃部门消耗的一次能源总量为 92 TBtu(EIA 2005)，

为美国玻璃行业四大部门中能耗量最高。总能源采购成本为 50110 万美元，其中 18500 万用在电力上。

由于能源价格、劳动成本与资本费用的攀升，以及与其他材料的竞争加剧，瓶罐玻璃也爆发 1970 年代末期以来最大的关厂潮。截至 2002 年，美国境内仍在运行的玻璃瓶罐厂从 1979 年的 100 多家缩减至约 55 家，一年生产 360 亿个玻璃瓶罐(GMIC 2002)。

平板玻璃部门的产量居美国玻璃行业四大部门的第二位，年产量约 500 万吨(U.S. DOE 2002a)。在美国，主导平板玻璃市场的六大制造商分别为：PPG Industries、Guardian Industries、Cardinal FG、Automotive Components Holdings LLC、AFG Industries 与 Pilkington，这些制造商在全美共有 30 家玻璃工厂(U.S. DOE 2002a; GMIC 2002)。尽管平板玻璃可制成多种产品，如镜子、桌面与仪器仪表，但用于住宅建筑、商业建筑与汽车工业的平板玻璃却占了该市场的 80% (GMIC 2002)。所以，美国玻璃行业的景气循环深受汽车工业与建筑工业的影响。由于建筑行业逐渐重视能效，未来对碳排放量低的平板玻璃的需求量可能会增加(James 2001)。

2003 年美国平板玻璃制造商直接雇用的员工超过 1000 人，出货量逾 28 亿美元 (U.S. Census 2005a)。能源采购费用总计 35000 万美元，其中 10100 万美元为电费。2002 年，美国平板玻璃部门消耗的一次能源总计为 73 TBtu (EIA 2005)。

**特殊玻璃**部门生产的产品种类很多，包括烹饪用具、光纤、照明产品、纺织纤维、电视显像管与液晶显示版。1999 年，美国共有 500 多家制造商生产 100 多种特殊玻璃产品(U.S. DOE 2002a)。以出货价值而论，特殊玻璃的主要终端消费市场为纺织纤维(33%)、照明、汽车、电子产品(30%)、餐具与烹饪用具(17%)、科学玻璃器皿与镜片毛坯(16%)。

美国特殊玻璃部门每年生产约 200 万吨的玻璃(不含纺织纤维)。在美国，特殊玻璃制造大厂包括康宁公司、GE Lighting、GE Quartz、Libbey Glass、OSRAM Sylvania、PPG Industries、Technoglas 与 World Kitchen (National Glass Budget 2001; U.S. DOE 2002a)。尽管近几年美国特殊玻璃的增长迅猛，但海外对手带来的激烈竞争(尤其是电子产品市场)，让美国厂商日益感到压力。

2003 年美国特殊玻璃部门雇用超过 25000 人，居所有玻璃部门之冠(U.S. Census 2005a)。2003 年总出货量为 41 亿美元，能源采购费用为 39800 万美元(其中 16300 万为电费)。2002 年，美国特殊玻璃部门消耗的一次能源为 91 TBtu，1991 年时仅 32 TBtu (U.S. Census 2004; U.S. DOE 2002a, 2005b)。

玻璃纤维部门包含两类产品：隔热玻璃纤维与纺织/强化纤维，每年运用于 300 万吨的玻璃纤维制品(GMIC 2002)。隔热玻璃纤维产品包含未经树脂粘结与经过树脂粘结的玻璃棉花、棉絮、管道保温与天花板。纺织/强化纤维属于连续玻璃纤维丝，建筑业、交通运输业与水产业使用它来强化塑胶与其他材料。

在美国，Owens Corning、Johns Manville、Guardian Industries 与 CertainTeed 等公司主宰隔热玻璃纤维的生产(National Glass Budget 2001; U.S. DOE 2002a)。以出货价格计算，隔热玻璃纤维的终端使用市场主要是建筑棉絮(39%)、工业与家电设备隔热(27%)、隔音(21%)、板材(5%)或散纤维(5%)(U.S. DOE 2002a)。

美国人口普查局将生产隔热玻璃纤维归类为矿棉制造业 (NAICS 327993, SIC 3296)。矿棉是由玻璃、岩石、炉渣等硅质材料制成，因此，并没有以隔热玻璃纤维作为专门生产类别的生产数据与能耗数据。2003 年时，美国矿棉制造业直接雇用的员工约 18000 人，出货量超过 47 亿美元(U.S. Census 2005a)；用于能源采购的费用为 35500 万美元，其中 15800 万用于电力。2002 年美国矿棉制造商消耗的一次能源为 75 TBtu (EIA 2005)。

美国生产纺织/强化纤维的大公司包括：PPG Industries、Saint-Gobain (Vetrotex)、Owens Corning 与 GAF Materials (National Glass Budget 2001; U.S. DOE 2002a)。由于美国人口普查局将纺织/强化纤维生产列于特殊玻璃行业项下(NAICS 327212, SIC 3229)，所以纺织/强化纤维的经济与用能数据不单独计算，而是并入特殊玻璃类。

在美国，玻璃纤维是消费者用过废玻璃与工业废玻璃二级市场的最大用户。目前，美国玻璃纤维制造商每年回收约 10 亿磅的废玻璃(GMIC 2002)，所生产的最后成品中有 10%至 40%是使用回收玻璃。

图 1 为美国玻璃行业四大部门在 1981 年至 2003 年间的总产值<sup>4</sup>。从 1980 年代初期至 1990 年代晚期，玻璃行业整体是朝渐进、稳定的方向发展。不过，这几年来美国玻璃产量开始减少，原因包括能源与劳工成本持续上升、发展中国家间的竞争日趋激烈、替代材料的市场占有率上升，以及主要终端使用市场仅有些微的增长(U.S. DOE 2002a; GMIC 2004)。

---

<sup>4</sup> 出货价值的是指产品售价。附加价值是指产品售价与从外部采购的材料与服务成本间的价差。

图 2 为美国玻璃行业各部门对经济的贡献度，从中可看出 1981 年至 2003 年间各部门的出货量。过去 20 年间成长速度最快的部门为特殊玻璃与矿棉，平板玻璃的成长幅度不大(汽车工业与建筑业的需求会受制于经济循环)，瓶罐玻璃则因为替代材料市占率扩大而面临成长困境(U.S. DOE 2004a)。但不管是哪个部门，美国玻璃制造商都在努力降低运行成本、提高能效，以维持竞争力。

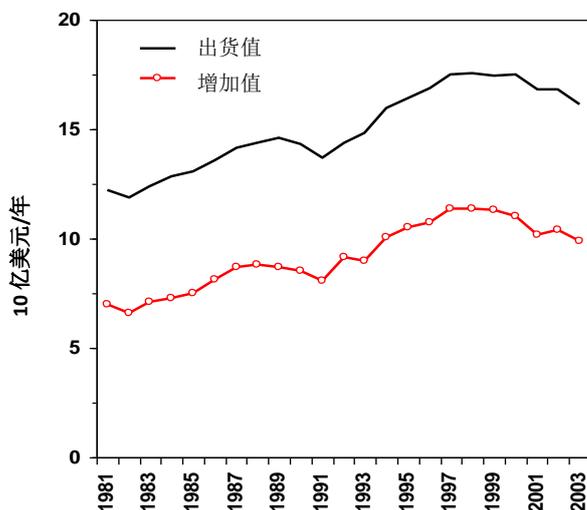


图 1. 1981-2003 年间美国玻璃行业的出货量与增加值

来源：NBER (2000), U.S. Census (2003, 2005a)

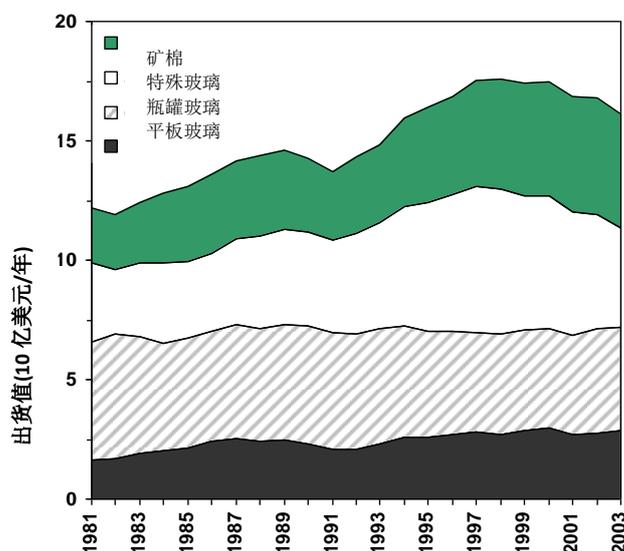


图 2. 1981-2003 年美国玻璃行业四大部门的出货量

来源：NBER (2000)、U.S. Census (2003, 2005a)

### 3. 工艺介绍

玻璃产品种类繁多，各有不同的特性，因此，生产与加工的方法也各有不同。尽管我们意识到玻璃具有多样性，但此节工艺介绍将着重在大多数玻璃工厂会采用的主要工艺。生产高质量玻璃的工艺包含六个基本过程：(1)挑选原料、(2)配合料制备(即秤原料重量并进行混料)、(3)熔化与澄清、(4)温度调节、(5)成型、(6)后加工(即退火、回火、研磨抛光或涂料)。产品类别将决定每个过程所采用的技术。图 3 为玻璃制造过程的简要流程图。

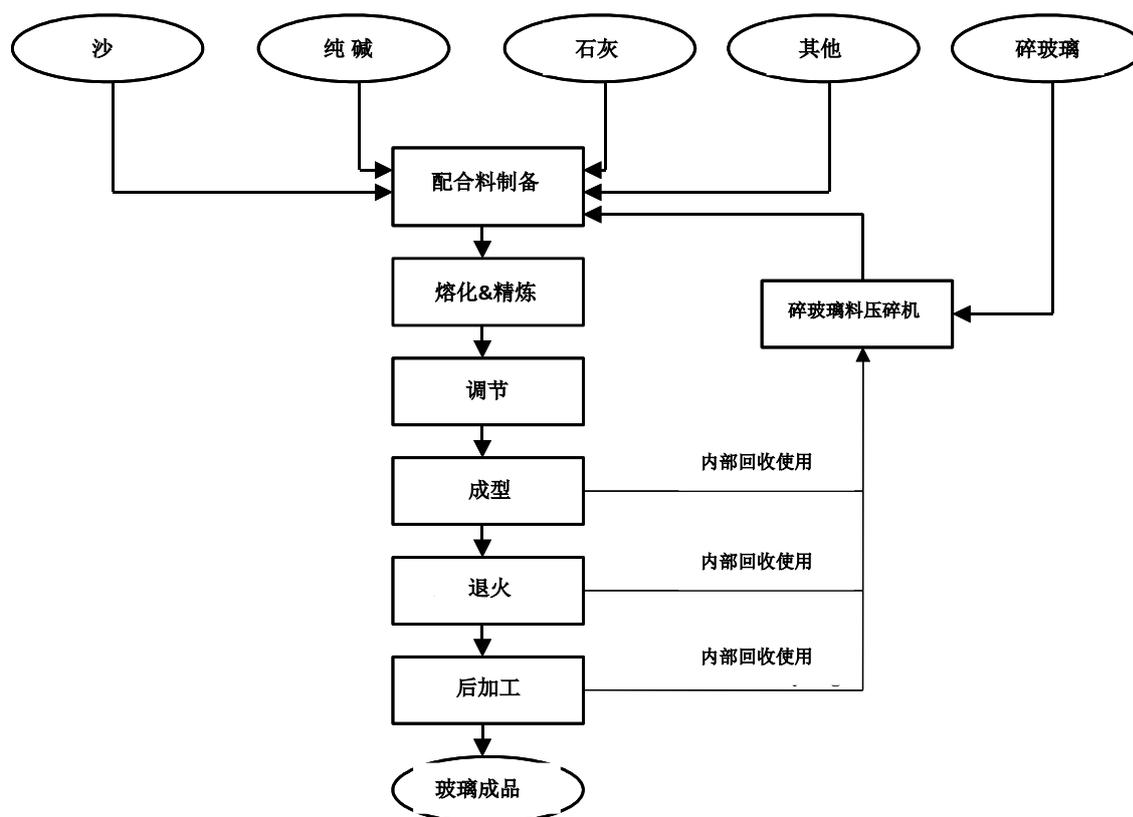


图 3. 玻璃生产简要流程示意图

注释：不同的玻璃产品可能会有不同的制造过程。图 3 为瓶罐玻璃的生产流程图。废碎玻璃用于熔制，可由工厂自行制造或从市场上回收使用。

**挑选原料与配合料制备。**玻璃成分决定玻璃的物理与化学属性，所以不同的玻璃产品其成分也不同。玻璃的化学耐蚀性、透光率、软化点与热膨胀系数，是关注重点。用于生产玻璃的氧化物可依据其功能分为三类：网络形成剂(如  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ )、两性氧化物(如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ) 与玻璃网络改良剂(如  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ )。

作为窗玻璃或瓶罐玻璃的钠钙玻璃，含有 60%的硅、18%的一氧化钙 (来自石灰岩) 与 20%的一氧化钠(来自纯碱)<sup>5</sup>；其他常见的成份有长石、硫酸盐、着色剂与澄清剂(如砷、氯化钠)。

常见干净碎玻璃重量占原料重量的 5%至 25%；以有色瓶罐玻璃为例，有时 90%以上是来自消费者使用过后的玻璃。

准备配合料制备时，先将具有一定颗粒度的原料按配方精确称量，再用混合机进行均匀混合。碎玻璃可以混入配合料或与配合料同时一起倒入玻璃熔化池。表 3 为各类玻璃成份的简介。

表 3. 不同玻璃制品的大致成份

氧化物	瓶罐玻璃	平板玻璃	玻璃纤维 (电子级玻璃)	实验室器皿
二氧化硅(SiO <sub>2</sub> )[w%]	73	72	54	80
三氧化二硼(B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )[w%]			10	10
氧化铝(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )[w%]	1.5	0.3	14	3
氧化钙(CaO) [w%]	10	9	17.5	1
氧化镁(MgO) [w%]	0.1	4	4.5	1
氧化钠(Na <sub>2</sub> O) [w%]	14	14		5
钾(K <sub>2</sub> O) [w%]	0.6			

**熔化 & 澄清。** 24 小时运行的池窑常用于熔化玻璃，除了少数特殊玻璃制造工艺不用之外<sup>6</sup>。典型的玻璃熔窑(“槽”)会有让配合料投料的设计(“加料口”)，加料口与耐火池相连，而耐火池有耐火上层结构(“窑炉大碓”)作为封盖。

常见的加热方法为燃烧加热(氧燃料燃烧炉、空气燃料燃烧炉)、直接电加热(“电阻加热”)与二者并用的燃烧法(“电助熔”)。不少熔窑使用电助熔来提高生产速度或提高熔窑运行的弹性(如用能种类与生产速度)。在美国，目前熔窑多半使用天然气进行加热。为提高氮氧化物的能效与降低碳排放量，目前多以氧气取代空气进行燃烧。辅助电熔的用能一般占总输入能量的 10%至 30%(请见 Wooley 1992 年举的例子)。多数电炉的电极

<sup>5</sup> 美国玻璃工业消耗 50%美国自产的纯碱。

<sup>6</sup> 间段式的玻璃熔化多半是在甘锅炉与日槽熔窑进行。使用干锅炉时，先在耐火材料制成的锅炉添加配合料与碎玻璃，之后再将锅炉放入天然气炉或电炉。配合料熔化后，通常会以提高锅炉的温度来降低熔体粘度并活化精炼剂，以便去除熔体的气泡(即澄清)，之后再调降玻璃温度，以利成型。日槽熔窑体积较小，一旦玻璃低于一定的水平，就要添加配合料与碎玻璃；类似干锅炉，日槽熔窑的温度可以配合熔化玻璃的熔化、澄清与调节，进行调整(通常在夜间)。

分布很均匀且属冷熔顶熔窑(Hibscher et al. 2005)。冷顶电炉主要用于玻璃纤维棉(Ruth and Dell'Anno 1997)，但也用于特殊玻璃的生产。详细的加热技术将在第 5.8 节进行介绍。

为保持一定的玻璃水平，玻璃熔窑会持续添加含有配合料与碎玻璃的混合料，以补足玻璃被抽离留下的缺口。

澄清工艺(也称精炼)是在炉膛进行。透过这道工艺，熔化玻璃就不会带有气泡、呈现均化，温度也会在玻璃进入前炉前获得调节。

建造加料口与耐火池时如使用较好的耐热材料，熔窑的运行温度就可提高(隔热效果也较好)，同时炉体较不容易出现腐蚀；在一些案例中，熔窑使用寿命可因此延长 2 年至 9 年以上。

要提高能效与火焰温度，空气燃料炉通常会透过换热系统或再生系统回收废气流所含的热能，再用回收热能预热燃烧空气。使用换热系统时，废弃包含的热会持续被输送到热交换器的燃烧空气。使用再生系统时，废气流会通过由耐火砖打造、类似明管渠形态的大型炉膛。在熔制的第一阶段，烟气会先穿过明管渠加热砖窑，之后再由烟囱排出。在一定时间(通常为 20 分钟)，排气口会关闭，烧制过程开始反向进行：冷的燃烧空气从相反的方向通过热砖窑，之后于燃烧膛与燃料混合。循环时间通常是由控制系统依据最高能效原则自动进行调节。

换热系统或回收系统内废气流的余热可用于余热回收锅炉(如用于室内采暖)的蒸汽生成或废玻璃的预热。这二种做法可提高玻璃窑的整体能效 50-65%(Whittemore 1999)。现代玻璃熔窑技术，意在提高氧气的用量，以提高热效率并降低氮氧化物的排放量。

一般浮法玻璃熔窑是玻璃行业内使用最大型的熔窑，每天可处理玻璃液 450 吨，但有的可处理高达 2000 吨的玻璃液；而瓶罐玻璃池窑每天的处理容量约为 250 吨至 350 吨(GTI 2002)。回收炉常见于浮法玻璃与瓶罐玻璃；大型浮法玻璃熔窑与瓶罐玻璃窑的能效改进较显而易见(GTI 2002)。玻璃纤维窑的单日处理量为 70 吨至 90 吨，纺织玻璃窑的单日处理量为 90 吨至 130 吨。压制与吹制玻璃熔窑的容量通常是最小的，每天只能处理 4 吨至 22 吨(GTI 2002)。四大玻璃部门的各个部门所使用的熔窑有 90%是换热熔窑。

玻璃熔窑目前使用的燃料为天然气。在美国，有些玻璃熔窑使用电助加热器来加速玻璃的熔化，因为玻璃在高温时会成为电导体。通常添加于熔窑的燃料有 10%至 30%是来自电助加热器(Wooley 1992)。就毛型玻璃纤维的生产而言，熔制主要是用冷顶电熔炉完成(Ruth and Dell'Anno 1997)。

由于熔窑温度相当高，熔制玻璃会释放大量的氮氧化物。先进技术的设计着重降低氮氧化物排放量，同时降低用能成本。

澄清工艺(也称精炼)在炉膛进行。透过这道工艺，熔化玻璃就不会带有气泡、呈现均化，温度也会在玻璃进入前炉前获得调节。

前炉的功用在于调节玻璃温度，使玻璃温度能够稳定、并处于所需的温度、并能纵向横向地均匀分布。玻璃瑕疵通常与温度有关，并因为玻璃缺乏热均匀而造成，这些直接与前炉的调节功能有关。

**调节。**完成澄清步骤后，相当均化、无气泡的玻璃就从熔窑进入前炉，有时则通过特殊设计的通道(渠道，“喉”)。前炉的主要作用在于调节玻璃的温度，产生适合成型的温度。热度不够的话，会对粘度造成不利的影晌，导致成品玻璃出现明显的瑕疵。前炉可以使用天然气或电力进行加热。

**成型。**温度经过调节的玻璃会以定速从前炉被传送至成型设备(“制成率”)。取决于工艺种类，富粘性的玻璃液可以进行连续成型(浮法玻璃、玻璃纤维)或先分成固定重量与形状(“团”)，再送至成型机(瓶罐玻璃)。

**瓶罐玻璃。**目前均由压、吹、压吹与吹吹等自动化成型工艺制成。供料机孔口环以定速将玻璃粘液排出前炉，再透过机械方法将玻璃粘液依事先决定的重量与形状(“团”)分成固定分量。团先滴入斜槽(“滴料机”)，再送至成型机。使用简单的玻璃压制机时，玻璃粘液团先滴入预热模，再透过预热的模具压制成型。瓶罐玻璃成型机的运作原理是先透过压或吹，将玻璃粘液团作初步成形，再对模具上的粘液团注入空气，做最后定型。同时间将不同黏液团送至多个成型机是相当常见的。通常，一台标准机每分钟可制造 200 多个的瓶罐。

目前**平板玻璃**的生产，不是透过浮法玻璃工艺、连续拉制(上拉、下拉、溢流熔融)，就是连轧工艺。浮法玻璃是由英国 Pilkington Brothers PLC 公司发明并商业化。1959 年本工艺获玻璃行业大量采用，目前已是全球平板玻璃成型的主要方法。

温度经过调节的玻璃液在离开输送系统后，会流至锡槽表面("浮抛窑")。为避免玻璃液出现氧化并与锡槽产生交互作用，要稍微降低浮子室的温度<sup>7</sup>。浮子室入口的温度相当高，常高达华氏 1800 度(摄氏 980 度)，足以让玻璃液在锡液面摊平展开形成玻璃带，这有助移除表面的不平整。玻璃被拉引出浮子室后会在浮在华氏 1100 度(摄氏 590 度)的锡液面进行冷却；此时玻璃够硬可以离开浮法窑，不会因通过输送辊而变形，表面也不至于受损。接着玻璃带通过退火窑进行释压，最后经过定长裁切。

浮法工艺可以生产厚度介于 2.5 厘米(0.1 英寸)至 25 厘米(1 英寸)的平板玻璃。一般浮法玻璃工厂每周的产量至少在 5000 吨以上，且可不间断运行长达数年之久。

压花玻璃与夹丝安全玻璃的制造是采用轧制工艺。将温度经过调节的玻璃液持续地倒入铸铁或高温不锈钢材质、经过冷水降温的辊，并在另一端持续拉引出来。如果玻璃带仅有一端需要压花，下方的大辊会刻有花纹。通过调整辊直径与辊之间的空隙，可产生不同厚度的玻璃带，一般是介于 4 厘米至 15 厘米。压花玻璃整形前后的温度分别为华氏 1900 度(摄氏 1040 度)与华氏 1600 度(摄氏 850 度)。成型未经切割的玻璃带由输送辊支撑，并在进行切割掰断前，先送入退火窑逐步降温。

拉引法目前主要用于生产薄玻璃。

**玻璃纤维**主要包含连续玻璃纤维(如纺织)与玻璃棉(用于保温)。连续玻璃纤维属于连续原丝，由大量的玻璃丝组成。经由前炉，玻璃液从炉窑被倒入由 1600 多个精确尺寸孔眼组成的支架避震组，更先进生产厂房所用的支架避震组，所含的孔眼可能高达 4000 个以上。机器以高速将玻璃细长丝往下抽离并绕成团。

玻璃棉是通过圆盘制板工艺或旋转工艺而制成。在玻璃液槽的前炉，粘稠的玻璃液从支架避震组流入快转合金钢盘“圆盘”，圆盘周边有数千个细孔。在离心力的作用下，玻璃液从细孔喷出，形成细丝，通过热气的高速喷发，细丝可进一步展延成超细纤维。喷上合适的粘合剂后，位于旋转盘下方的水平移动输送带会吸入纤维。卷绕的纤维垫再送入炉灶进行粘合剂固化后，就可以裁剪成一定尺寸。

**光纤**是由高纯度玻璃制成的特殊产品，成分包含二种特殊玻璃，其中高折射的玻璃蕊由低射率的玻璃鞘包覆。蕊鞘与其他纤维的接触端形成的全反射，会对光纤讯号产生

---

<sup>7</sup>注入浮子室的成型混合气体通常包含氮气，其中 10%为氢气。

导引作用。蕊光纤的生产可采用多种制造工艺。要生产精确尺寸、内外剖面复杂的玻璃，通常使用挤压加工法。相较于传统成型工艺如拉引法或吹制法，挤压加工的工艺温度较低，并可熔化粘度极高的玻璃。

目前，生产玻璃纤维的主要是采用电熔法，该法可生产高质量、均化的玻璃制品。

**后加工。**可采用多种后加工处理，以改变玻璃制品的特性，如退火、淬火与涂料。

退火时，将玻璃制品置于退火窑缓慢加热，可以消除玻璃制品中的永久应力。首先，依据玻璃种类将玻璃加热至介于华氏 800 度(摄氏 400 度)至华氏 1000 度(摄氏 500 度)的高温。接着，将玻璃温度降至无应力可消的度数，最后以电风扇冷却至室温。退火所需时间取决于产品大小与退火窑壁的厚度，通常可在一小时内完成。

淬火是先均匀加热玻璃制品，直到玻璃快要变形时，再快速喷入空气以冷却表层，如此可让玻璃制品的表层在多次冷却后产生压应力，因为热蕊玻璃仍会收缩。淬火可用于平板玻璃或汽车玻璃、平底玻璃杯等简单形状的玻璃制品。玻璃厚度必须一致、不能太薄，且玻璃的制品形状必须要让表面能够均匀冷却。瓶罐玻璃不适合淬火，但可采用化学方法提高玻璃的强度。

玻璃制品表层进行烧釉(如镜子、提高瓶罐强度、加色)会赋予玻璃心的物理、化学与光纤属性。在重量轻的瓶罐表层涂上有机化合物，表层会更加润滑，避免经常接触引发磨损，如此可提高瓶罐的强度，并使玻璃制造商得以生产量轻质佳的产品

最后步骤是将玻璃制品包装、存放在仓库或运送至不同行业的用户手中。

## 4. 玻璃生产用能

美国玻璃行业的用能成本相当高，占玻璃生产直接成本的 14%左右 (GMIC 2002)。2003 年玻璃行业的四大部门—平板玻璃、瓶罐玻璃、特殊玻璃与玻璃纤维—花费逾 16 亿美元购买燃料与电力 (U.S. Census 2005a)。其中，燃料占 10 亿美元，电力占 6 亿美元。购买的燃料绝大多数为天然气，天然气也是熔制与退火工艺使用的主要燃料。电力通常是熔化槽的辅助能源，多用于照明、风机、泵、压缩空气系统与成型设备。本章将简介美国玻璃行业的用能，并对每个主要工艺步骤的能耗进行评估。

表 4 对美国玻璃行业的能量预估做了摘要，数据来源为美国能源情报署出版的制造业能耗调查报告(EIA 1994, 1997, 2001, 2005)<sup>8</sup>。由于该报告的格式年年差异极大，我们无法根据该报告的数据就玻璃行业用能做连贯性的时间序列分析<sup>9</sup>。

表 5 为 2002 年美国玻璃行业能耗预估，该数据是从美国人口统计局的年度制造业调查报告(ASM)推算得出<sup>10</sup>。从该调查所含的数据，我们估计美国玻璃行业四大部门 2002 年的一次能耗为 362 TBtu。在比较表 4 与表 5 后，可看出制造业能耗调查报告估算的玻璃行业各部门能耗量，整体低于从年度制造业调查报告推算出的能耗量。这二个报告均以千瓦时作为电耗单位，所以可以相互比较。年度制造业调查报告估算的能耗量，是将美国统计局报送的燃料支出，除以 2002 年工业天然瓦斯平均价格，计算结果具有高度不确定性。制造业能耗调查报告所含的能耗数据，是取自一份直接报送能耗数据的调查报告。不过，制造业能耗调查报告是根据有限样本数的结果，外推至整个行业。将 2000 年制造业能耗调查报告的平板玻璃、瓶罐玻璃与矿棉玻璃数据与 2002 年年度制造业调查报告的特殊玻璃数据相加后，可得出玻璃行业四大部门的一次能耗总量估计为 331 TBtu。基于上述限制，本估计值并不是确定的。

---

<sup>8</sup> 表 4 包括对终端能耗与一次能耗的估计。终端能耗为所有购买燃料与电力的总和(即工厂消耗的能源)。一次能耗包含终端能耗与购买电力在发电、电力传输与配送过程中发生的能源损耗。能源耗损的计算是采用美国转换因子：购买电力每千瓦时的能源耗损相当 7088 Btu。

<sup>9</sup> 1991 年与 1994 年的制造业能耗调查报告包含平板玻璃、瓶罐玻璃、特殊玻璃与矿棉等数据，但缺乏购买玻璃的数据 (NAICS 327215, SIC 3231)。1998 年制造业能耗调查报告仅有“玻璃与玻璃制品生产”行业数据，其中包含平板玻璃、瓶罐玻璃、特殊玻璃与购买玻璃，但缺少矿棉数据。2002 年的制造业能耗调查报告涵盖平板玻璃、瓶罐玻璃与矿棉等数据，但不含特殊玻璃数据。

<sup>10</sup> 表 5 的估测值是根据美国人口统计局的年度制造业调查报告的数据，以 2002 年全国工业用天然气平均价格每 1000 立方英尺 4.02 美元，计算得出(U.S. DOE 2005a)；采购的用电量是根据 2002 年美国人口统计局的年度制造业调查报告中的实际消费量。购入的燃料中，其目的在于发电并对外销售电力的燃料，并未计入这些估测值。电力耗损量的计算方法，与表 4 的计算方法相同。

表 4. 制造业能耗调查报告有关美国玻璃行业的能耗数据 (TBtu)

	1991	1994	1998	2002
<b>玻璃行业 - 全部</b>				
购买电力	39	43	42	42
燃料油	3	4	3	6
天然气	140	199	159	153
一次能耗总量	186	249	206	201
电力损耗	81	89	87	87
一次能耗总量	267	338	293	288
<b>平板玻璃</b>				
购买电力	5	5	-	6
燃料油	保留	2	-	3
天然气	42	45	-	52
终端能耗总量	49	52	-	61
电力损耗	10	10	-	12
一次能耗总量	59	62	-	73
<b>瓶罐玻璃</b>				
购买电力	14	15	-	13
燃料油	2	2	-	保留
天然气	69	66	-	52
终端能耗总量	85	83	-	65
电力损耗	29	31	-	27
一次能耗总量	114	114	-	92
<b>特殊玻璃</b>				
购买电力	10	11	-	-
燃料油	1	保留	-	-
天然气	保留	51	-	-
终端能耗总量	11	63	-	-
电力损耗	21	23	-	-
一次能耗总量	32	86	-	-
<b>矿棉</b>				
购买电力	10	12	-	13
燃料油	保留	保留	-	-
天然气	29	37	-	35
终端能耗总量	41	51	-	48
电力损耗	21	25	-	27
一次能耗总量	62	76	-	75

来源：美国能源情报署 (1994, 1997, 2001, 2005)

表 5. 根据年度制造业调查报告推算的美国玻璃行业 2002 年工业能耗估计 (TBtu)

	平板玻璃	瓶罐玻璃	特殊玻璃	矿棉	总量
购买电力	7	13	12	12	44
购买燃料	59	66	53	45	223
终端能耗总量	66	79	65	57	267
电力损耗	15	28	26	26	95
一次能耗总量	81	107	91	83	362

来源：美国人口普查局 (2004)、美国能源部 (2005)

过去十年，美国玻璃行业的用能成本逐年攀升，最大增幅出现在 1990 年代晚期。图 4 显示美国玻璃行业 1992 年至 2003 年间的用能成本、用能成本占增加值的比重、用能成本占出货价格的比重。1999 年后出现的剧增，是导因于同期间天然气价格的剧增。1999 年至 2003 年间，美国工业天然气平均价格从每一千立方英尺的 3.12 美元，成长至 5.81 美元 (U.S. DOE 2005a)。尽管用能成本占生产成本的比重，在 1990 年代期间呈现逐年下滑，但总用能成本从 1999 年起却逐年增长，因为天然气价格与电力价格出现涨幅。

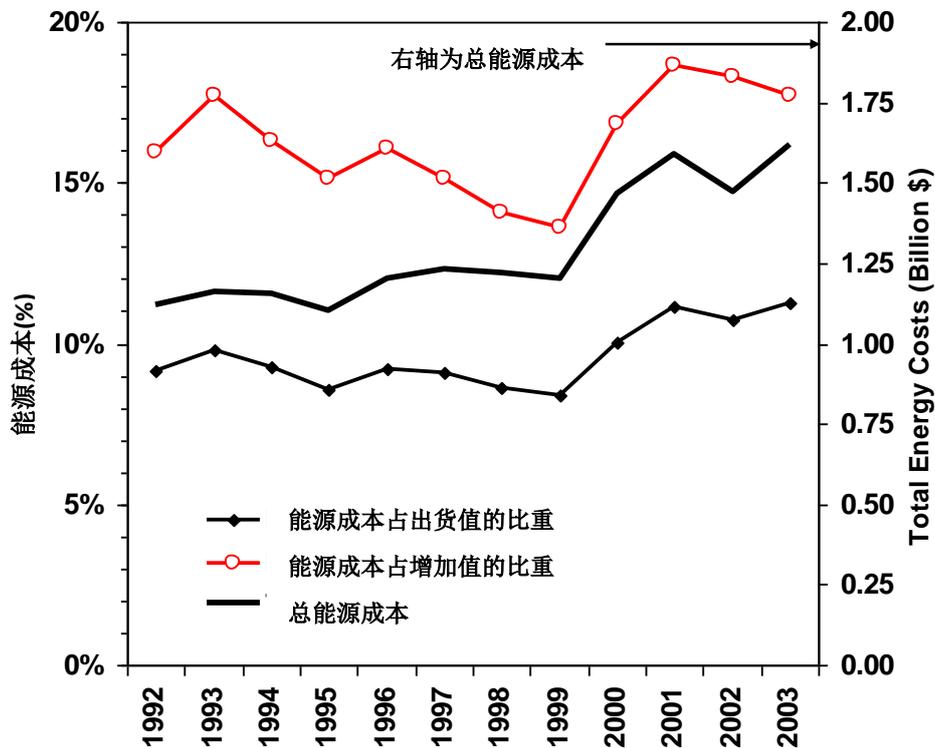


图 4. 美国玻璃行业用能成本的历史趋势

来源：美国人口普查局 (1995, 1996, 1998, 2003, 2005a)

图 5 显示美国玻璃行业在 1992 年至 2003 年间的用能支出，支出分为燃料与电力二类。虽然 1990 年代期间大部分的燃料与电力支出是可互为比较，燃料支出在最近几年却出现大幅度的成长(主因是天然气成本的剧增)。2003 年，燃料成本占美国玻璃行业用能成本近三分之二。

美国玻璃行业消耗的电力几乎全是向外购买的。过去十年，美国玻璃生产设备的用电平均不到 0.1%是自产的 (U.S. Census 1995, 1996, 1998, 2003, 2005a)。

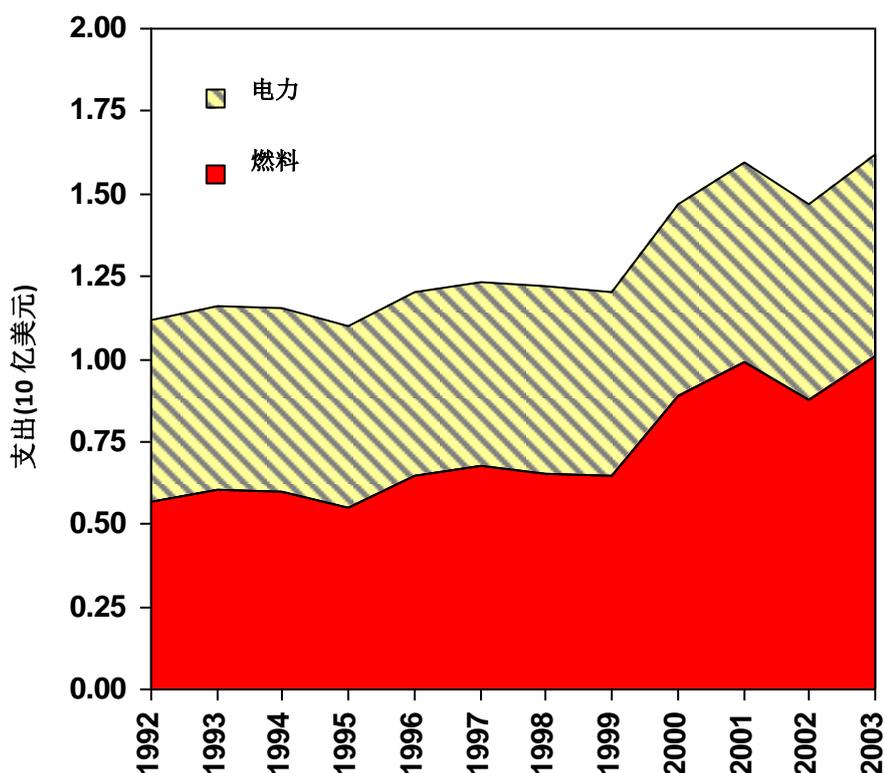


图 5. 美国玻璃行业能源支出的历史概况

来源: 美国人口普查局 (1995, 1996, 1998, 2003, 2005a)

美国玻璃行业购买的能源中，约 80%用于工艺加热，多半用于加热原料以转换成玻璃 (U.S. DOE 2004)。机器驱动机消耗 80%购买的能源，工厂设施采暖、通风与暖通空调设备消耗约 4%的能源。

玻璃生产过程的单位能耗(即玻璃制品每吨的能耗量)，是取决成品种类(即化学成分)、进料所含的碎玻璃比例、工艺能效与炉窑种类 (EEBPP 2000)。表 6 将玻璃行业主要部门在生产玻璃过程中的主要工艺步骤的确实平均能耗量做了摘要。请注意：玻璃制品

的实际能耗量可能会因为化学成分与碎玻璃的用量而出现差异。所有玻璃部门中能源强度最高的工艺步骤为熔化与澄清，最低为配合料的制备。以下将详细介绍主要工艺步骤的单位能耗。

表 6. 各玻璃部门主要工艺步骤的单位能耗

工艺步骤	平均单位能耗 (百万英热单位/吨)			
	平板玻璃	瓶罐玻璃	特殊玻璃	玻璃纤维
配合料制备	0.3	0.5	0.8	1.1
熔化与澄清	6.5	5.8	7.3	5 - 6.5
成型	1.5	0.4	5.3	1.5 - 4.5
后成型/后加工	2.2	0.7	3.0	1 - 2

来源：美国能源部 (2002a); Rue et al. (2006)

**配合料制备。** 电力用于启动输送带、压碎机、混料机、装料斗与袋式除尘器。配合料制备平均单位电耗：平板玻璃为 80 千瓦时/吨(0.3 百万英热单位/吨)、玻璃纤维为 340 千瓦时/吨(1.1 百万英热单位/吨) (U.S. DOE 2002a)。配合料制备的电耗一般占工厂终端能耗需用量的 4%至 5%左右。

**熔化与澄清。** 在连续式熔窑进行熔化与澄清，是玻璃生产过程中能耗最高的工艺步骤。理论上，熔化一短吨玻璃需要 2.2 百万英热单位；实际上，大多数的现代熔窑的电耗量相当高，取决于进料所含碎玻璃的比例 (EC-JRC 2000)。通常，连续式熔窑进行熔化时仅消耗 33%至 40%的能源 (U.S. DOE 2002a, Pieper 1997)；高达 30%的能源会因熔窑结构而流失，其余 30%能源会在烟气排出烟囱时流失。

熔化与澄清工艺的用能量大幅取决于玻璃的化学成分与废玻璃的用量，以及熔窑种类。美国生产平板玻璃、瓶罐玻璃与特殊玻璃时，绝大部份的熔窑使用天然气进行燃烧，很多熔窑也使用电助熔。电助熔通常占熔窑能耗的 10%至 20% (U.S. EPA 1995; Wooley 1992)。电助熔对熔窑可贡献 2%至 20%的能源输入。但在瓶罐玻璃与平板玻璃进行大规模电助熔时，贡献度约为 5%至 15%，取决于当地用电费 (GMIC 2004)。如果使用燃料增氧技术，生产氧气过程也会耗电。美国生产隔热玻璃纤维，大多数使用电熔窑。

美国能源部最近针对美国玻璃制造厂做了一份调查研究，目的在于建立目前玻璃行业各部门能耗相关数据，熔化与成型工艺是研究重点。该研究的结论是：就玻璃纤维而言，纺织纤维的能耗一般为  $6.5 \pm 0.5$  百万英热单位/吨、玻璃棉为  $4.5 \pm 0.5$  百万英热单位/吨；就平板玻璃而言，熔化与澄清工艺的平均能耗估计为  $6.5 \pm 0.5$  百万英热单位/吨，

研究发现，差异介于 5 百万英热单位/吨至 7.5 百万英热单位/吨；而瓶罐玻璃熔化与澄清时消耗的能源估计为 5.75±0.25 百万英热单位/吨 (Rue et al. 2006)。

表 7 根据燃料与熔窑种类，将玻璃行业各部门的单位能耗估计值做了摘要。该表也提供各玻璃部门使用不同熔窑所生产玻璃量的估计值，以显示美国不同熔窑技术的普及程度。

表 7. 玻璃熔窑单位能耗估计值

玻璃部门/ 熔窑种类	目前比重 估计	平均单位能耗 (百万英热单位/吨) <sup>11</sup>			
		天然气	电力	电力损耗 <sup>12</sup>	一次能源 <sup>13</sup>
<b>平板玻璃</b>					
再生式	80%	8.5 (6.2-11.8)	0.3 (0.1-0.6)	0.6	9.4
燃料增氧	20%	4.7	0.7	1.5	6.9
电助熔	不详	5.7 (5.1-6.3)	0.8 (0.6-1.1)	1.7	8.2
<b>瓶罐玻璃</b>					
再生式	70%	7.5 (4.8-10.2)	0.3 (0.1-0.5)	0.6	8.4
电助熔	15%	4.7 (3.3-6.0)	0.8 (0.6-1.1)	1.7	7.2
燃料增氧	30%	4.0 (3.7-4.3)	0.7 (0.6-0.8)	1.5	6.2
电熔窑	n.a.	-	2.8 (2.5-3.0)	5.8	8.6
<b>特殊玻璃</b>					
再生式	26%	5.5 (3.8-7.1)	-	-	5.5
直接电熔窑	34%	12.0 (8.0-16.0)	-	-	12.0
燃料增氧	35%	3.6 (3.0-4.2)	-	-	3.6
电熔窑	5%	-	10.3 (8.9-11.6)	21.4	31.7
<b>隔热玻璃纤维</b>					
电熔窑	55%	-	7.5 (3.0-11.9)	15.6	23.1
再生式	10%	7.0 (6.0-8.0)	-	-	7.0
燃料增氧	35%	5.6 (3.4-7.8)	-	-	5.6
<b>纺织/强化纤维</b>					
再生式	25%	10.5 (6.0-15.0)	-	-	10.5
燃料增氧	75%	5.6 (3.4-7.8)	-	-	5.6

来源：美国能源部(2002a); Rue et al. (2006)

<sup>11</sup> 就天然气与电力的用量而言，单位能耗范围表示在括弧中。

<sup>12</sup> 计算电力损耗是将购买的电力，依据美国采用的转换系数，即每千瓦时转换成 7,088 Btu(U.S DOE 1997, 2002a)。

<sup>13</sup> 斜线预估的基础为天然气用量，因为用电数据无法取得。

如表 7 所示，不同类型的熔窑，甚至相同类型的熔窑，其单位能耗彼此间差异极大。影响熔窑能效的重要因素包含熔窑的根本设计、大小、使用年数、熔化的玻璃种类、制成率、使用燃料种类(多数熔窑的设计是针对特定燃料，故使用其他燃料会降低能效)。

全套式电熔窑的主要用户为小型玻璃制造厂，以及特殊玻璃与玻璃纤维制品的制造商。电熔窑最主要的缺点是用能成本可能相当高<sup>14</sup>、一次能耗量高(源于大量电力损耗)，但调节比低(即相较于以天然气作为燃料的熔窑，制成率的调节受到限制)。再者，点熔窑的最大处理容量为 300 吨/天，碎玻璃的比例会因为出现非预期的化学反应或能源损耗增加而受到限制，使用现代耐火材质的熔窑使用寿命只有四年。不过，相较于天然气熔窑，电熔窑的特殊优点是，直接排放的二氧化碳量较少，但有时基于技术需求的考量，如高熔点玻璃、高挥发性，还是得用电熔窑才能制造出特定种类的玻璃。

最近一份针对每天处理量超过 10 吨玻璃的电熔窑所做的调查显示，电熔窑的平均单位电耗为 1.18 千瓦时/公斤(1070 千瓦时/短吨)(Fleishmann 1994, 1997)。该调查是针对的德国境内各式各样的电熔窑设计(冷顶、半冷顶与竖炉)与电阻位置(顶端、底部或二者兼采)。该调查结果显示电耗量会因为熔窑容量、每日产量与进料含的碎玻璃量，而出现巨大差异。根据该调查的结果，我们推算出电耗量与生产量间的关系(不含碎玻璃比重)：

$$\text{电耗量(千瓦时/公斤)} \approx 1.3 - 0.0066 * \text{每日生产量(吨/天)}$$

该调查同时显示有些电熔窑的能效要比其他电熔窑来得高，意味被调查的电熔窑，还有提高能效的空间。现代电熔窑的能耗约为 780-800 千瓦时/短吨的碱石灰与钠硼酸盐玻璃(Hibscher et al. 2005)。

所有熔窑皆会面临应力与腐蚀问题，所以得使用耐火材质。耐火材质可以用涂的来延缓腐蚀，由于耐火材质会变质，导致能量流失增大(接近使用年限时，由于内层损耗，能耗量会比刚开始使用时要高出 20%)，所以要定期换新(EC-JRC 2000)。

**成型。**玻璃在熔窑内熔化与澄清后，玻璃液会被送至前炉进行温度调节，以利成型。根据想要的玻璃成品形状，玻璃液可以透过不同工艺进行成型(见第三章)。成型大多数使用天然气与电力。电力多半用于启动成型机、风机、鼓风机、压缩机与输送带(U.S.

---

<sup>14</sup> 价格差异很大部份取决于该工厂所在位置的天然气与电力价格。电价的差异可能相当大，同时天然气价格在过去几年也急速上涨。所以在特定地点，使用电炉或许还是个划算的做法。

DOE 2002a)。成型时由于要将温度维持在正确范围，通常会使用燃料(如天然气)与电力来控制工艺过程产生的热。

成型时的能耗很大部份取决于产品本身；玻璃生产时的成型电耗占一次能耗的比重可介于 12% (平板玻璃)至 34% (玻璃纤维) (Babcock et al. 1988)。生产平板玻璃时，电力主要用在维持锡槽的液化状态 与驱动辊。生产瓶罐玻璃时，最后成型要靠压缩空气(吹制与吹制法)或并用压缩空气与电力驱动的机械式压制(压制与吹制法)。生产特殊玻璃在成形时—压制与吹制、压制成型、灯泡成型、旋制、拉制—也要靠电力驱动。生产玻璃棉时，则要使用电力(旋转器)与燃料(蒸汽拉引或降低火焰强度)。

表 8 给出了各个玻璃部门成型工艺的平均单位能耗估计值。

**表 8. 玻璃成型工艺的单位能耗估计值**

玻璃行业部门	平均单位能耗 (百万英热单位/吨)		
	电力	电力损耗 <sup>15</sup>	一次能耗 <sup>16</sup>
平板玻璃	1.5	3.1	4.6
瓶罐玻璃	0.4 – 0.7	0.8 – 1.5	1.2 – 2.2
特殊玻璃	5.3	11.0	15.3
玻璃纤维	2 – 5.5	4 – 11.8	6 – 17.3

来源：美国能源部 (2002a)

**后成型与后加工。**玻璃制品最终成型后，可能会再经过多道后成型与后加工步骤，如固化/干燥、退火、弯曲、回火、层压、表面镀膜、切割、研磨、抛光。

除了玻璃纤维与薄板玻璃制品(如灯泡)外，其他玻璃制品皆要经过退火。退火在退火窑(电力发电或天然气发电室)进行，退火炉可严格控制玻璃冷却的速度，以利除去玻璃的内部应力。大多数退火窑(90%以上)使用天然气(U.S. DOE 2002a)。退火工艺能耗通常占玻璃工厂终端能耗总量的 2%至 5% (EC-JRC 2000)。

退火后，一些平板玻璃(尤其是汽车与建筑用玻璃)要经过回火增加强度。回火可在电熔窑或天然气熔窑进行。汽车用平板玻璃在回火前，通常会以机械弯曲到所需的曲度。

<sup>15</sup>计算电力损耗是将购买的电力，依据美国采用的转换系数，即每千瓦时转换成 7,088Btu (U.S DOE 1997, 2002a)。

<sup>16</sup>一次能耗估计仅包含电耗数据，因为燃料用量数据无法取得。

进行层压时，两片平板玻璃间会涂上一层合成树脂并经过轧制，之后送入高压釜溶化树脂，以利除去残留空气；高压釜多数是由电力带动 (U.S. DOE 2002a)。

完成退火后，玻璃瓶罐表层要进行镀膜才能提高抗划性，镀膜通常是使用电机驱动的液压喷嘴。纺织玻璃在轧制成型后，也要进行表层镀膜。

玻璃棉在成型后要经过固化与干燥工艺。玻璃棉纤维由输送带搜集后会喷上液化粘合剂，完成后的玻璃棉垫会通过一连串的窑炉进行固化，接着再通过干燥机将空气逼出玻璃棉垫。固化与干燥主要是使用天然气，用途为工艺加热与燃烧在固化时产生的挥发性有机气体。

表 9 为玻璃行业各部门后成型与后加工工艺单位能耗的估计值。

**表 9. 后成型与后加工工艺单位能耗估计值**

玻璃行业部门/工艺	平均单位能耗 (百万英热单位/吨)			
	天然气/ 燃料油	电力	电力损耗 <sup>17</sup>	一次能耗 <sup>18</sup>
<b>平板玻璃</b>				
退火	0.4	0.01	0.02	0.43
回火 (天然气)	4.0	0.19	0.39	4.58
回火 (电力)	-	1.85	3.84	5.69
层压	1.0	-	-	1.0
高压釜	0.5	0.14	0.29	0.93
<b>瓶罐玻璃</b>				
退火 & 后加工	1.6	0.23	0.48	2.31
<b>特殊玻璃</b>				
退火 & 后加工	3.0	0.05	0.10	3.15
<b>玻璃纤维</b>				
玻璃棉	4.4	-	-	4.4
纺织玻璃纤维	3.3	-	-	3.3

来源：美国能源部 (2002a)

17计算电力损耗是将购买的电力，依据美国采用的转换系数，即每千瓦时转换成 7,088 Btu (U.S. DOE 1997, 2002a)。

18斜线预估的基础为天然气用量，因为用电数据无法取得。

## 5. 提高能效的机会

美国玻璃行业有提高能效、同时保持或强化既有生产力的机会。提高玻璃工厂的能效，可从多方面着手。首先，玻璃工厂的用能设备包含电机、泵与压缩空气。这些设备要定期进行维护、适当操作，必要时得汰旧换新，因此，玻璃工厂能源管理很重要的一点，就是要对横跨整个生产工艺的设备，进行有效控制。第二个重点就是要正确有效地操作各个工艺。优化工艺并使用高生产力技术是实现节能的关键。最后，由于全厂同时兼有多种不同工艺在进行，有必要协调这些工艺的能效与运行，才能实践能效。如果一家企业拥有不只一家工厂，进行能源管理会比单一工厂要来得复杂许多。但不管是一个工厂或整个企业，建立厚实的组织能源管理架构很重要，才能要确保能效措施的有效执行。

以下章节是根据各公用设备系统(一般、压缩空气、电机、照明、采暖、蒸汽输送、其他)或工艺(配合料制备、熔化、配合料少时的电熔窑、前炉、成型、退火与后加工)，对节能措施进行分类。第 5.1 节针对美国与其他国家玻璃工厂的能源管理与能源管理计划，进行案例介绍，如果可取得数据的话，这些案例均附有单位能耗数据与节约成本数据，同时也有节能措施的介绍。类似工厂如可产生具有比较性的数据，如其他工业所用的高温熔制工艺，该节也会介绍。最近一份研究(Rue et al. 2006) 估计玻璃行业的节能潜力介于 20%至 25%，其中以炉窑的改善潜力最高，接着分别为澄清、温度调节、碎玻璃与配合料预热、提高碎玻璃的用量。

分析时不采计机会成本(如更换设备时的停机时间)与更换非折旧设备的相关成本，因为这些成本会因为工厂的不同而出现差异，有些工厂甚至不用负担任何成本。在有数据的情况下，会先提供简单回收期法作为计算获利程度的第一个方法。确定获利程度的更好方法为投资报酬法或生命周期成本法。但这些方法需要的数据，要比本指南提供的数据要多。我们预期本指南的读者会先使用回收期法确定是否对该节能措施的获利程度，再做进一步的研究。

以美国玻璃工厂而言，各节能措施实际的回收期与节约成本，会因为厂房的配置情况与规模、生产的产品、运行特色与地点等因素，而出现差异。简介时提供的数值，仅供参考，因为在有具体地点的工厂进行详细研究，计算的估计值可信度才高。可能的话，我们会提供各玻璃部门在不同生产情况下的节约量与回收期。表 10 列出的节能措施为通用设施或跨工艺的节约措施，由采用该措施的系统作为表征。表 11 列出的节能措施是针对特定工艺，由采用该措施的工艺作为表征。

表 10. 玻璃行业采用的跨工艺(设施)节能措施

能源管理(第 5.1 节)	
能源管理计划	能源监控系统
压缩空气系统(第 5.2 节)	
改善系统	控制
维护	管路直径尺寸适当
监控	热回收
减少漏损	天然气压缩机
关闭不必要的压缩空气	回收能热用于空气干燥
修改系统	压缩机电机
以其他方法取代压缩空气	尽可能采用低压空气
提高负载管理	提高进气口的露点温度
减少压降	调节器尺寸适当
电机(第 5.3 节)	
电机管理计划	选择战略性电机
维护	电机大小适当
调速驱动	功率因子校正
减少电压不平衡	高效皮带(齿形带)
开关磁阻电机调速系统	
照明(第 5.4 节)	
照明控制	以高强度荧光灯取代金属卤化氙灯
无人时关灯	降低氙灯瓦数
出口标示—LED 灯或镭条纹	用电子镇流器取代磁镇流器
用荧光灯或节能灯取代白炽灯	反光镜
以 T-8 或金属卤化灯取代 T-12	白天照明
以金属卤化灯或高压钠灯取代水银灯	改进系统
热能与蒸汽输送—输送 & 锅炉(第 5.5 节)	
改进对锅炉工艺的控制	锅炉—以优化的锅炉取代过时的炉子
减少烟气量	蒸汽与热水配送
减少过量空气	改进配送时的保温
锅炉—改善保温	改善蒸汽疏水阀
维护锅炉	维护蒸汽疏水阀
锅炉—从烟气回收热	自动监控蒸汽疏水阀
锅炉—回收冷凝水	修复漏损
锅炉—从排污系统回收热	回收闪蒸汽
其他跨工艺的节能措施(第 5.6 节)	
暖通空调—建筑外墙	高效变压器
其他暖通空调节能措施	热电联产

表 11. 玻璃行业采用的工艺相关节能措施

准备配合料(第 5.7 节)	
粉碎—新技术	高效电机
混料	调速驱动器
助熔剂	高效皮带
降低配合料的湿度	输送带系统
选择性配料	碎玻璃分离与粉碎系统
优化输送带	准备配合料
调整电机大小	
熔化—改变既有熔窑(第 5.8.1 节)	
工艺过程控制系统	耐火/保温材料
减少多余空气/减少空气漏损	将燃烧炉置于适当位置
预混燃烧炉	密封燃烧炉
在燃烧风机安装调速驱动器	低氮氧化物燃烧炉
废水锅炉	换热式烧嘴
起泡器	直立式熔窑
熔化—熔窑设计(第 5.8.2 节)	
马蹄型熔窑	增加冷冻机的尺寸
再生熔窑	SORG® Flex 窑炉
熔化—全氧燃烧炉(第 5.8.3 节)	
合成空气	从全氧燃烧炉回收热能
富氧空气分级燃烧	高亮度燃烧炉(全氧)
全氧熔窑	高顶炉窑
熔化—碎玻璃的使用与预热(第 5.8.4 节)	
增加碎玻璃或过滤灰尘的用量	预热配合料与碎玻璃
熔化—电熔窑(第 5.8.5 节)	
顶部加热	取代燃料窑炉
优化电极位置	
熔化—电熔窑(第 5.9 节)	
工艺过程控制	全氧前炉
高效前炉	加强提高
退火与后加工(第 5.10 节)	
控制	保温
优化厂房配置	换用更好地产品干燥系统
减少漏气现象	玻璃表层镀膜
新兴技术(第 5.11 节)	
振荡供燃料燃烧技术	高端玻璃熔窑
分段式加热熔窑	空气底部循环
等离子熔窑	回收玻璃纤维
高速对流	用废玻璃进行切割
改造工艺缩短液槽的停留时间	其他新兴技术
浸没燃烧熔化	

## 5.1. 能源管理系统与计划

尽管改进设备使用的技术有助于节能，改变员工的行为态度也能产生极大的影响。节能培训计划可协助企业员工将节能做法融入日常工作中。各层级员工使用能源时，应多加留意并了解企业在提高能效上的目标与做法。低阶经理通常会知道这些信息，却很少对高阶管理人员回报或对下属员工宣传(Caffal 1995)。对员工节能行为定期提出反馈(如奖励系统)的能效计划，通常成效最佳。尽管员工行为改变短期间内带来的节能量不多，但长远下来，影响力会远高于采用昂贵的技术改进措施。

协助企业管理用能与实施节能措施时，建立正式的管理系统以确保改进措施能持续进行，是很重要的战略。美国环保署能源之星计划的能源管理架构，是根据所观察到的大公司最佳节能做法。企业也可采用 ISO 14001 等管理架构，以确保能源管理能井然有序。能源之星计划的一位合作伙伴曾强调，将能源管理计划与 ISO 14001 计划结合，对工厂节能所产生的影响力，远甚其他战略。

提高玻璃制造的能效应该从多面着手。有个完整、扩及整个企业的能源管理计划相当重要。理想的情况是将设施、运行、环境、卫生、安全与项目管理人员纳入计划之中。提高跨工艺技术<sup>19</sup>的能效，如使用高效电机与优化压缩空气系统，已有文献证实可节约能源。优化系统设计与运行，如提高工艺余热的回收量，也能产生显著的节能效果。另外，对生产工艺进行微调也能有近似的节能效果。

**能源管理计划。**在整个企业实施能源管理计划，以改变能源管理的做法，是提高能效最成功与最划算的方法之一。

能效改善不会无中生有。完整的能源管理计划必须要建立在基础之上，以利正向改变，并对整个企业的能源管理提供指引。能源管理计划同时可确保能效改善不是昙花一现，而是能以细水长流的方式找出节能机会并持续执行节能措施。再者，如果没有健全的能源管理计划作为支持，能效改善的潜力会因为不够宏观、缺乏适当地维护及持续关照，而无法充分发挥。

如果企业没有明确的节能计划，尽管有能效改进的机会，节能措施也会受制于组织障碍，而无法被提出或执行。组织障碍可能包括：工厂间缺乏沟通、不了解如何带动对

---

<sup>19</sup> 跨工艺技术的定义是：不同部门常用的技术，如锅炉、泵、电机、压缩空气系统与照明。

节能计划的支持、资金有限、无法对节能措施勇于任事或不想改变现状的组织堕性。尽管能源成本相当高，很多企业依然没有改进能源管理的坚强决心。

美国环保署通过能源之星计划，已和许多工业界的领导制造商合作，找出有效能源管理计划的基础<sup>20</sup>。图 6 为战略性能源管理计划的重点。

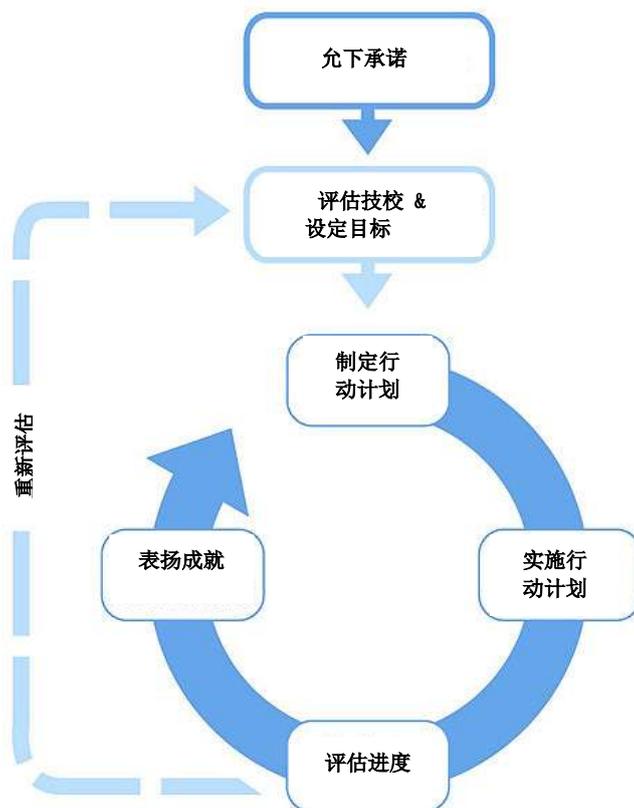


图 6. 战略性能源管理计划的重点

能源管理计划的成功始于企业对于持续改善能效有坚实的承诺，这包含指定一名能源主任负责监控与管理、制定能源政策、成立跨单位的能源管理小组。之后再制定评估绩效的步骤程序，绩效评定可通过定期审查能耗数据、技术评估与节能对标。通过评估，企业就能据以建立用能的基准线并设定改善目标。设定绩效目标有助于行动方案的制定与实施。

确保行动计划成功的关键在于企业全体人员都要参予。各层级人员对于能源使用与企业的节能目标灯应该有所意识。员工应该学习与其日常工作相关的节能技能及一般做

<sup>20</sup> 有关战略性能源管理计划，请上网站 [www.energystar.gov](http://www.energystar.gov)。

法。此外，要定期评估节能绩效，并将结果广为周知，同时对卓越绩效提供奖励。本指南附录八提供了员工可采行的一些简单做法。

进度评估则要就能耗数据与节能行动计划所执行的活动，定期进行检讨。正式检讨过程中采集的信息有助于设定新的绩效目标、行动计划并凸显最佳实践。确立了最佳实践后，跨部门的能源管理小组应该要将这些最佳实践，在企业内全面落实。制定坚实的沟通计划并表彰成就也很重要，因为这样做有助于建立对未来活动的支持力道。

要快速评估一个组织单位在能源管理方面的努力，可将该组织单位目前的能源管理项目与能源之星能源计划评估标准(请见附录三)进行对照。

建立“能源管理小组”是企业要建立并成功执行能源管理计划很重要的一步。从已成功执行类似计划的许多企业身上可证明，能源小组成员来自企业旗下各工厂与单位部门，可汇集想要成功地在企业或工厂开展能源管理计划所需的各种专长。能源之星另有一份指南，主题是成立能源管理小组(US EPA 2006)。附录四为能源管理小组设立时可用的检查表。

先前提过，企业内部对商业能源管理计划的支持，是计划能否成功的关键要素；不过，支持也可来自企业外部。有些公用事业公司会与工业企业合作，支持企业实现节能目标。有些案例中，公用事业员工直接前往该企业提供协助。再者，美国有支持工业企业提高能效的项目，联邦政府与很多州政府都有这类项目。附录五为支持能源管理活动的一些项目(如工具、审计，提出建议、财务支持)。

对厂房设施进行能源审计，可算是一种相当有效的外部支持。美国能源部工业节能中心(IACs)在近年执行的能源审计中，找出很多节能机会，每年可节约能源成本 6,000 美元至 300,000 美元，投资回收期介于 1 个月到 11 个月(U.S. DOE 2002b)。OSRAM Sylvania 公司位于新罕布什尔州 Exeter 城的特殊玻璃工厂，在美国能源部补助下进行了能源审计，找出的节能机会每年可节约 170 万千瓦时的用电量与 330 万英热单位的天然气，换算起来一年可节约超过 170,000 美元 (D'Antonio et al. 2003)。

各企业在实行战略性能源管理系统后，会产生不同的具体节能量与投资回收期。英国瓶罐玻璃制造大厂 United Glass，实施前述能源管理系统的诸多要素，包括制定能耗与能源成本监控与目标计划、实施能源审计、提高所有员工的节能动力与意识、成立能源管理专案小组、改善培训内容(EEBPP 1996a)。除了聘用一名能源经理，每名员工要参加最少 3 天的训练，主管人员的训练内容更广泛。当年度(1995 年)因此节约的电力、

重油与天然气用量相当 420,000 美元。能源经理薪水的回收期为 1 个月，投资于节能措施的回收期为 1 至 2 年。

**用能监控管理系统。** 采采用能监控与工艺控制系统，在能源管理与减少用能上，具有重要地位。系统可以是用电分类计量与监管系统，这些设备有助降低执行繁复工作所需的时间、通常可提高产品与数据的质量及一致性、优化工艺过程的运行、改善生产预算编制。

监控系统与目标系统可在零投资的情况下，减少企业 10%的能耗量(EEBPP 1996b)。改善数据质量与数据沟通所需时间、增加分析的次数与地点，可进一步改善监控系统并提高节能量。将工艺控制系统用于工业上，产生的节能量与节约的成本，通常占 5%以上(但各厂间的差异可能会很大)。没有更新工艺控制系统的工厂也可达到这样的节能量；美国很多工厂已采行现代化的控制系统来进行节能。

位于 Kilbarry, Dungarvan 与 Butlerstown (爱尔兰) 的 Waterford Crystal 公司在 1993 年开始采用监控与目标系统来减少用能成本 (EEBPP 1996b)。通过持续监控生产工艺过程、暖通空调设备、照明设备、更新办公室的空调与照明，该公司在一年之内将用能量降低了 20%。

荷兰的 Owens Corning Veil 公司使用数学模型来控制其空气干燥工艺，成功地减少干燥空气的用量并优化天然气的用量(NOVEM 1997)，一年节约 50 万立方米的天然气，相当 67,000 美元。在产品降耗另节约 52,000 美元，与项目成本为 99,000 美元的条件下，回收期约为 10 个月。

## 5.2. 压缩空气

工厂内的各种工具都可能会用到压缩空气，但压缩空气主要用于瓶罐玻璃与其他特殊玻璃制品的成型。压缩空气的用量会随产品与工厂的不同而不同。瓶罐玻璃成型时的用电量估计为 105 千瓦时/吨(U.S. DOE 2002a)，其中大部份用于压缩空气。生产电灯(使用电熔窑)的特殊玻璃工厂，其压缩空气用电量占总用电量的 3%左右(D'Antonio et al. 2003)，而用于非电熔窑的压缩空气占总用电量的 7%左右。由于压缩空气的能效差，其能耗量是工设备中最高的。通常，生产终端使用的压缩空气的空气压缩系统，能效约 10% (LBNL et al. 1998)。由于能效很低，如要使用压缩空气，使用时间尽可能地短、用量仅可能地少。同时要经常监控压缩空气的使用情况并与衡量是否有其他能效更高

的替代方法。除了本节详述的节能措施外，压缩机也可使用其他由电机驱动的措施 (见第 5.3 节有关电机的介绍)。

很多降低压缩空气系统用能量的方法并不是相当昂贵；有些方法的回收期相当短。以 Automotive Components Holdings 公司位于美国田纳西州 Nashville 市的玻璃工厂为例，在进行全面的能源审计并推广使用高效压缩系统后，该厂降低漏损的能源、降低运行压力并使用高效压缩机，一年之内省下超过 700,000 美元的成本 (U.S. DOE 2003)，其中 300,000 美元为能源成本，400,000 美元是因为能效提高后所省下的维护费用与劳力成本。

OSRAM Sylvania 公司位于新罕布什尔州 Exeter 城的特殊玻璃工厂，在进行全面能源审计后找出节能机会，一年可节约 164000 千瓦时的用电，省下的能源费用约为 14,000 美元 (D'Antonio et al. 2003)。节约量相当压缩机用电量的 25%。

**改善系统。** 只有对压缩空气系统做过完整的评估后，才应考虑是否另外添购压缩机。很多案例显示，管理与重新配置压缩空气系统的能效，可在不另外添购压缩机的情况下，提高压缩机的运行效率。改善压缩机系统可使用下面讨论的诸多节能措施。压缩空气系统服务厂商会提供系统评估与持续系统维护工作的一体化服务，省却要联络多家公司的麻烦，压缩空气系统<sup>®</sup> (<http://www.compressedairchallenge.org>) 针对系统方法、技术性刊物、免费在线指引如何选择合适的一体化服务厂商等，提供广泛地训练，同时也提供走过式评价、系统评估与全靠仪器的系统审计的服务 (CAC 2002)。

英国的 Beatson Clark 是一家瓶罐玻璃制造商，1992 年时停用所属 8 部压缩机中的 5 部，其余 3 部安装可编程逻辑控制器(PLC) (EEBPP 1995)，控制器成本 28,000 美元(1992 年)，改装阀花费 22,000 美元(1992 年)，检修 3 部压缩机花费 19,000 美元(1992 年)。结果一年节能 522,732 千瓦时，比未装修前要少 12%，相当一年省下 32,800 美元，一年省下的维护成本为 19,500 美元(1992 年)，整体回收期为 1.3 年。除了减少用电量与维护成本，因为空气压力更稳定，成型机器的废品率也因而下降。

**维护。** 维护做得不够会导致压缩机能效下降、增加空气漏损机会或压力不稳定、运行温度增加、湿度控制不良、过度污染。改善维护可减少这些问题的出现并节约能源。压缩机应该要放在一个干燥、干净、凉爽(介于 5°C 至 35°C)、通风良好的地方，该地方要有足够的空间供气体流动，同时方便进入维护 (Kaeser Compressors 1998)。适当维护包括以下内容 (U.S. DOE and CAC 2003; Scales and McCulloch 2007):

持续检查与维护滤器。滤器堵塞会增加滤器出现压降的情况，导致系统能源损失。定期检查与清理滤器，可将压降的发生机率降至最低。修复错误运行的滤器也可预防污染物进入机器，造成机器提早耗损。通常压降要是超过 2-3 psi，就应该更换除尘与除滑组件。定期清理与更换滤器估计可降低压缩空气系统 2%的能耗(Radgen and Blaustein 2001)。

- 保持压缩机电机适当的润滑与清洁。电机冷却不良会造成电机温度升温与绕线电阻，进而缩短电机的使用寿命以及增加能耗量。压缩机润滑剂应该每 2 个月至 18 个月更换一次，并作定期检查以确定其润滑程度是否适中。另外，压缩机电机经过适当的润滑，会减少系统腐蚀与老化的速度。分析美国瓶罐玻璃、玻璃纤维、特殊玻璃行业的几个案例结果显示，使用合成滑油的回收期平均不到 6 个月(IAC 2005)<sup>21</sup>
- 检查风机与水泵在峰值时的表现。
- 检查排放弯管确保不是一直呈现开启或关闭的状态，且要干净。有些人会让自动冷凝排放阀一直保持半开状态，以便持续进行排放。这样会浪费大量能源，万不可行。反之，应该安装简单压力驱动阀。故障的阀应该要经过整理维修，而不是放任开启。浮控开关与无油空压机等自动排放阀不会造成空气流失。检查维护排放阀的回收期一般不会超过 2 年 (U.S. DOE 2004c)。
- 对压缩机的冷却器进行维护，以确保干燥机的入口温度能最低 (U.S. DOE and CAC 2003)。
- 检查压缩机皮带。使用皮带驱动的压缩机时，要定期检查皮带以防磨损并做调整。根据经验，压缩机每次运行达 400 小时就要调整皮带一次。
- 根据使用说明或经常更换空气润滑油分离器。螺旋式空压机通常在满载出现 2 psi 到 3 psi 压降时，就要更换空气润滑油分离器，其他压缩机则在压降达到 10 psi 时，就要更换分离器 (U.S. DOE and CAC 2003)。
- 定期检查水冷却系统的水质(酸碱值、溶解固体总量)、流速与温度，要根据制造商的使用说明书清洗与更换水冷却系统的滤器与热交换器。
- 将压缩机系统的压缩空气漏损情况降至最低。
- 使用压缩空气的设备应该要检查是否有压力过高、运行时间过长与使用的压缩空气过量等问题。没有用到最大系统压力时，可通过生产线切割或设备附有的

---

<sup>21</sup> 工业节能中心(IAC)的数据库包含各种工业能效措施的案例研究数据，信息相当丰富。，如每个案例的实施成本与节能量。运用这些信息就可计算出每个案例的简单回收期。计算特定技术的整体回收期时，要将所有案例数据加总平均。为正确呈现玻璃工业可采用的技术，我们仅选择与玻璃工业相关的 SIC 代码(即 SIC 3221, 3229 与 3296)。

压力调节器，来调节压缩空气的用量。使用过量的压力会造成能源类费、设备使用寿命缩短、维护成本增加。有案例研究以证实这样做的回收期不到 1 年 (IAC 2005)。

**监控。**除了进行适当的维护，压缩空气系统采用持续监控系统可节约大量的能源与减少可观的运行成本。有效的监控系统一般包含下列组件 (CADET 1997):

- 干燥机、滤器等设备的接受器或主要管路与压差计上的压力计。
- 压缩机与压缩机冷却系统上的温度计，以侦测积垢与堵塞情况。
- 测量压缩空气用量的流量计。
- 监控空气干燥机效果的露点温度测量仪。
- 压缩机驱动器上的瓦时计与机组运行小时表。
- 压缩空气配送系统重新配置后，要进行检查以确保空气没有流向该系统不用的设备或废弃的零件。
- 检查系统是否有出现流量受到限制的情形，如气流受阻或气流有高低不平的现象，这些情况会徒增系统运行的压力。根据经验，因为流量受阻引起的压升，每 2 个 psi 会增加压缩机 1% 的能耗(U.S. DOE and CAC 2003)。最大压降通常出现在使用端，如直径过小或渗漏的软管、管路、端子、滤器、阀、喷嘴与润滑器(需求侧)，以及空气/润滑分离器、冷却器、湿气分离器、干燥机与滤器等。
- 在非生产时间，检查压缩空气的用量。

**减少漏气。**漏气是能量损失的重要原因。工业设施如果没有进行妥善得维护，漏气量可能会占压缩空气总产能的 20%至 30% (U.S. DOE and CAC 2003)。大体上，压缩空气系统每年的能耗量，估计有 20%是用于填补漏气造成的能量损失 (Radgen and Blaustein 2001)。

由于漏气造成的能量损失的幅度，会因为管路孔径大小或设备大小不同而出现差异。如果一部压缩机一年以 87 psi 运行 2500 小时，且漏洞直径为 0.02 英寸(1/2 厘米)的话，一年损失的能量估计为 250 千瓦时；如直径为 0.04 英寸(1 厘米)的话，一年损失量为 1100 千瓦时；如直径为 0.08 英寸(2 厘米)的话，一年损失量为 4500 千瓦时；如直径为 0.16 英寸(4 厘米)的话，一年损失量为 11250 千瓦时(CADET 1997)。一份针对美国玻璃纤维、平板玻璃、瓶罐玻璃与特殊玻璃行业的多个案例的分析结果显示，采些这些节能措施的回收期不到 4 个月 (IAC 2005)。

能耗增加之外，漏气也会降低气动设备的能效、缩短设备的使用寿命、推高维护成本与增加设备闲置的时间。漏气同时也会增加压缩机的能耗与维护成本。

常见漏气的地方为连轴器、软管、管路、配件、压力调节器、开启的凝气筒与关闭阀、管道接头、端子与螺纹密封剂。超声声波探测器是侦测漏气的最佳工具，该仪器可辨识因漏汽引起的高频嘶嘶声。侦测漏气并进行修补应该要持续进行。

在 Anchor Glass 瓶罐公司位于乔治亚州 Warner Robins 城的工厂进行的小规模调查显示，漏气占该厂总压缩空气用量的 20%以上，该调查建议在降低漏气上要采取新作为 (OIT 2002)。

**关闭不必要的压缩空气。**不再需要压缩空气的设备应该要完全关闭，只要使用简易的电磁阀就可做到 (Scales 2002)。设备经过重新配置后应该要检查压缩空气配送系统，以确保空气没有溢流到闲置的设备或压缩空气配送系统老旧的设备内。

**改装系统取代增压。**对于需要使用高压的个别用途，与其提高整个系统的运行压力，应要考虑对设备做特殊改装，如使用增压器、扩大缸径、调整齿轮比或运行时间改至离峰时段。

**以其它方法取代压缩空气。**使用压缩空气以外的方法来运行设备，可降低成本并提高效率 (U.S. DOE 2004c, 2004d)。使用压缩空气以外的方法包括：

- 电动冷却柜：应以空调风机取代压缩空气涡流管。
- 将高压空气注入孔口，形成真空状态：应以真空泵取代压缩空气文丘里洗气法。
- 制冷、吸气、搅动、混合、或包装冲气：以鼓风机取代压缩空气。
- 清理零件或清除残余物：应以刷子、鼓风机或真空泵系统取代压缩空气。
- 移动零件：应以鼓风机、电动驱动器或液压装置取代压缩空气。
- 工具或驱动器：电动电机的能效较高，应该考虑取代压缩空气 (Howe and Scales 1995)。不过，有报导表示相较于压缩空气，电机较不精确、使用年限较短、安全性较低。这种情况下，最好使用压缩空气。

针对美国玻璃行业进行的四个案例研究(一个为平板玻璃部门、一个为特殊玻璃部门、二个为玻璃纤维部门)显示,以其它方法取代压缩空气所得的平均回收期估计为 5 个月(IAC 2005)<sup>22</sup>。

**改善负载管理。**由于压缩机不管在全面运行或部份运行,能耗量均很大,应该要避免在部份负载的状态下运行。例如,卸载的旋转空压机仍会消耗满载功率的 15%至 35%,输出的功率却是无作用的功(U.S. DOE and CAC 2003)。离心式压缩机在高负载时运行较划算 (Castellow et al. 1997)。

将储气罐安装在靠近高需求的地方,可在短时间需求量剧增至超过正常压缩机的容量时,提供缓冲。这样可以减少需用的压缩机数量。理论上,多段压缩机的运行效率要高于单段压缩机。多段压缩机通过冷却每段的空气、渐少压缩空气时需要的空气量与工作量,进而达到节能功效。以多段压缩机取代单段压缩机,回收期通常为 2 年或更短(Ingersoll-Rand 2001)。以多段小型压缩机取代大型的压缩机也可以节能。大型压缩机卸载时的用电量要比类似容量的多段小型压缩机要高。针对美国数个案例分析的结果显示,优化压缩机大小的回收期约 1.2 年 (IAC 2005)。

对 Anchor Glass 瓶罐公司位于乔治亚州 Warner Robins 城的工厂进行的压缩空气系统评估,建议使用高压储气罐,这样压缩机每个负载中间可停机 10-20 分钟(OIT 2002)。

**减少压降。**压降过多会造成系统性能不良与能耗量过大。系统气流受限制时,如阻塞或气流高低不平,运行压力就会高过必要程度。流动受阻会增加容积式压缩机驱动器能耗,在接电情况下,每差到 2 psi,能耗量就增加 1% (U.S. DOE and CAC 2003)。最大压降通常出现在使用端,如直径过小或渗漏的软管、管路、端子、滤器、阀、喷嘴与润滑器(需求侧),以及空气/润滑分离器、冷却器、湿气分离器、干燥机与滤器等(供应侧)。

要将压降出现次数降至最低,必须从整个系统来进行设计与维护。选择空气处理组件时,要挑选在全面运行时压降最低及性能最好的。要按照制造商的建议进行维护,尤其是空气过滤与干燥设备,这些设备容易出现不良的潮湿现象如管路腐蚀。最后,空气流通的距离应该要尽量缩短。针对工业厂房进行的审计结果显示,采用这措施的回收期通常不到 3 个月 (IAC 2005)。

---

<sup>22</sup> 针对美国各种工业进行的数个案例研究显示,采用这方的平均回收期只比 9 个月高些(IAC 2005)。

**降低进气口温度。**如果气流恒定，降低进气口温度可减少压缩机的能耗。有不少工厂从建筑外头抽吸空气来降低进气口温度。根据经验，温度每下降华氏 5 度(摄氏 3 度)，压缩机可节能 1% (CADET 1997a; Parekh 2000)。抽吸新鲜空气的回收期据报为 2 年至 5 年 (CADET 1997a)。节能之外，使用抽吸自外头的冷空气，还可提高压缩机的容量。工业案例显示这样做的回收期不到 1.7 年 (IAC 2005)，但成本可能会因为厂房配置的不同，而出现大幅差异。

**控制。**压缩机控制战略的主要目标在于关闭不必要的压缩机并在没有需求时，延缓添购压缩机。熟练压缩机控制每年产生的节能量据报为 12% (Radgen and Blaustein 2001)。在压缩空气挑战(in Compressed Air Challenge®)出版的「压缩空气系统最佳实践(第二版)」里，对压缩控制有相当好的简介(Scales and McCulloch 2007)。压缩控制系统常见的控制战略包含：

- **启动/停止 (开/关) 控制**，压缩机电机会应对机器释出的压力，进行开或关。启动/停止控制可用于低工作周期，也可用于螺旋空压机。使用启动/停止控制的回收期一般为 1 至 2 年 (CADET 1997)。
- **加载/卸载控制**，恒速控制，可让电机持续运行并在排气压力充足的条件下，卸载压缩器。多数情况下，卸载螺旋空压机仍会消耗 15%-35%的满载功率，同时输出没作用的功。
- **调整或节流控制**，可通过关闭进气阀与限制进入压缩机的空气来调整压缩机的输出量，以配合流量要求。节流控制则用于分离式压缩机与螺旋空压机。
- **单主测序系统控制**，会根据监测到的系统压力需求，启动或关闭个别压缩机容量，同时能关闭没有必要运行的压缩机。对多个压缩机进行系统控制的能效通常要比控制单一压缩机的能效要高。
- **多主测序系统控制**，是目前压缩空气系统控制中最新的技术，它可同时应付 4 个以上的压缩机并可通过连接个别控制器的网络，来控制个别压缩机与系统 (Martin et al. 2000)。控制器会分享信息，让系统可根据不同的需求，做更快速与精确地回应。其中一个控制器主导整个系统的调节运行。这样每个压缩机就可以最具能效的水平来运行，系统压力受到高度控制并达到最低需求水平 (U.S. DOE and CAC 2003)。根据 Nadel 等人(2002)，这种先进的压缩机控制器可产生的节能量估计为 3.5%。

Lewis and Towers 公司位于英国 Edenbridge 市的瓶罐玻璃制造厂，换购 4 台压缩机，其中 1 台安装了可调速空气压缩机(EEBPP 1999)。此外，该公司使用独立监控系统，用以确认压缩机的运转特性与节能量。安装有可调速驱动器的压缩机，成本会增加 10,000 美元(1999)。该公司注意到在安装可调速驱动器后，一年节电量为 31200 千瓦时，相当 2,820 美元(1999)。监控过程中，该公司注意到其他 4 台压缩机中，有 1 台运行出现问题。如果 4 台压缩机都能正常运行的话，预估节电量将为 83100 千瓦时，相当 5,700 美元(1999)。使用可调速空气压缩机的回收期为 1.7 年，但压缩机如果出现问题，回收期可能要 3.4 年。

**适当的管路直径。**将压缩空气系统的管路直径加大至可行且便宜的最大尺寸，可减少压降与漏气出现的情况，同时降低系统运行的压力，从而达到节能的效果。加大管路的直径，压缩空气系统的能耗量通常可减少 3% (Radgen and Blaustein 2001)。确保其它系统组件(如滤器、配件与软管等)的大小适中，也可以进一步节能。

**热回收。**工业用空气压缩机使用的电力，高达 90%会被转换成热能。通常，单一热回收设备可回收 50%至 90%的热能，并将回收的热能用于室内采暖、工艺加热、水加热、补充空气加热、锅炉补充水预热与热泵 (Parekh 2000)。估计容量 100 cfm 的压缩机，每小时可回收 50000 Btu 的热 (U.S. DOE and CAC 2003)。回收期通常不到一年(Galitsky et al. 2005a)。

使用回收热作为室内采暖，不如使用水冷式压缩机作为室内采暖普遍，原因是热交换这道额外的手续不能省，且回收热的温度会偏低。不过，大型水冷式压缩机的回收效率，经常可高达 50%至 60%(U.S. DOE and CAC 2003)。采用这个措施，每年可回收压缩空气系统使用能源的 20%，转用于室内采暖 (Radgen and Blaustein 2001)。针对特殊玻璃与玻璃纤维工业案例研究显示，本措施的回收期通常不到 6 个月 (IAC 2005)。

**天然气引擎驱动的空气压缩机。**以天然气引擎驱动的空气压缩机取代电动压缩机，好处坏处兼有。燃气压缩机的价格较高，维护成本也较高，但得取决于电力与天然气的相对价格，整体运行成本可能会较低。标准的燃气压缩机是可调速的，应对不同的负载时，能效较高。回收热能可从发动机套与排器系统进行。不过，这类压缩机也有缺点：要经常维护、使用寿命短、停机时间很有可能较长。根据 Galitsky 等人的研究 (2005a)，燃气压缩机目前在整个空气压缩机市场的市场占有率不到 1%。

美国特殊塑胶袋制造商 Ultra Creative Corporation，在其在位于纽约布鲁克林区的工厂安装燃气压缩机。2 台 220 马力的压缩机，每台价格 85,000 美元，1 台 95 马力的压缩机，每台价格 65,000 美元。据报，该公司每月省下了 9,000 美元的电费(平均一年为 108,000 美元)(Audin 1996)。

雀巢公司加拿大分公司发现，在燃气压缩机可正常运行的条件下，使用燃气压缩机是相当划算的。该公司预估，热回收系统的效率达 75%时，回收期可短至 2.6 年，没有使用热回收的话，回收期将长达 4.2 年 (Audin 1996)。

**回收能量用于空气干燥。**包括玻璃行业在内的许多工业，使用压缩空气前必须先将空气进行干燥处理。将压缩空气干燥的传统方法，包括后冷却器与冷冻干燥机。如不使用传统方法，有些工厂已开始改用再加热系统，所需要的投资资本较低、能耗较低、不用维护 (R P Adams Co. 1998)。热交换系统的冷却来源，是已经经过再加热系统后冷却器冷却过的压缩空气。旋风分离器会在凝析液回流至蓄热式换热器前，先除去空气中 99%的凝析液。这做法有二大优点：这套系统可减少后冷却器需要的冷凝剂剂量，因为蓄热式换热器已完成部份制冷工作；压缩空气以自产的余热进行再加热，可进一步减少能耗量。

**压缩机电机。**电机也是压缩机系统很重要的一环，第 5.3 节会有详细的介绍。以下是电机与压缩机并用的几个例子：

- 可调速驱动气(ASDs)。螺旋式空压机使用可调速驱动器，一年可节约 15%的用能 (Radgen and Blaustein 2001)。丹麦 Vamdrup 市生产 Glasuld 玻璃棉的工厂，在几个重点压缩机安装可调速驱动器后，一年节电 200 兆瓦(节电 29%)，该项目的回收期为 3 年(CADDET 1998)。
- 高效电机。压缩机系统安装高效电机一年可减少 2%的用能，回收期也不到 3 年 (Radgen and Blaustein 2001)。压缩系统高效电机的节能量最大的地方，通常在用能量不到 10 千瓦的小型机器。

**尽可能使用低压空气。**虽然空压机系统的压力可能很高，使用空气作特定用途时应该尽可能使用低压空气。以汽车业为例，日本本田汽车将整个管路系统作为储气罐/调节器，以调节空气的使用(见前面“负载管理”)。质量应该维持在规定范围的下限；根据用途，一次处理少量的压缩空气，要比处理全部的压缩空气来得经济 (Kaeser Compressors 1998)。针对美国玻璃纤维、平板纤维、特殊玻璃行业的几个案例分析的结果，使用低压空气的回收期平均不到 3 个月 (IAC 2005)。

**进气口露点温度压力尽可能高。**选择干燥机时，要选择露点温度压力最大与能效最高的。根据经验，吸附式干燥机的能耗占压缩机总能耗量的 7%至 14%，但冷冻式干燥机只有 1%至 2% (Ingersoll Rand 2001)。不妨考虑有浮动露点温度的干燥机。

**适当大小的调节器。**调节器可为压缩空气系统带来最大的节能量 (Toyota 2002)。大小适中的调节器可节省所需的压缩空气用量，以避免过多的压缩空气被浪费掉。

### 5.3. 电机<sup>23</sup>

玻璃制造厂的每个环节都会使用电机，如压缩空气系统、冷却水泵、熔窑鼓风机、通风风机与输送带。根据美国能源部的信息，美国工厂通过提高其电机系统的能效，可节电约 5%至 15% (U.S. DOE 2006)。

考虑提高厂房电机系统的能效时，很重要的一点是要采用“系统性做法”。系统性做法的目标是要优化整个电机系统 (即电机、驱动器、驱动设备如泵、风机、压缩机与控制器) 的能效，而不是电机本身的能效而已。系统性做法要同时分析电机系统的能源供应侧与需求侧，以及在优化整个系统 (不仅包含能耗，也包含系统的正常运行时间与生产力) 上的性能上，这二方面是如何互动的。

系统性方法通常含有下列步骤：首先，找出厂房有哪些地方会使用电机；其次，记录所有电机的使用状况与规范，如此登录的系统清单可显示最新资讯；第三，评估是否需要电机系统与电机系统实际的大小，以确定电机的大小是否合宜，与每个电机的性能表现是否能满足其驱动设备的需求；第四，收集电机系统维修升级的相关信息，包含维修升级的经济成本与好处，以作为能效改进时的决策参考；最后，如要进行升级，则要监控升级后电机系统的性能，以确定实际节约的成本 (SCE 2003)。

下面介绍的电机系统节能措施具现了这个系统性方法，包括电机速度与负载要互相搭配、电机大小要适中、系统组件进行升级等。

---

<sup>23</sup> 美国能源部工业技术项目有很多关于提高工业电机系统能效的资源，如要进一步了解本节介绍的许多节能措施，可查询这些资源。要找寻改善电机能效的技巧、工具与工业案例研究等相关信息，请上工业技术项目「电机、泵与风机的最佳实践」网页

(<http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/systems.html>)。再者，Motor Decisions Matter<sup>SM</sup> 也有一些关于提高电机能效的绝佳资源 (<http://www.motorsmatter.org/>)。

**电机管理规划。**电机管理规划是工厂能源管理战略关键的一环，长远来看，它可协助企业实现电机系统的节能，确保电机故障时能够以最快、最富成本效益的方法进行处理。Motor Decisions Matter<sup>SM</sup> 对完善的电机管理规划，提出以下重点建议(MDM 2007):

1. 建立电机调查追踪跟踪项目
2. 制定预防性维修/更换决策的指引
3. 建立备用清单以备电机故障时需要
4. 制定采购规范
5. 制定维修规范
6. 制定并实施预测性与预防性的维护项目

Motor Decisions Matter<sup>SM</sup> 的「电机规划工具包」对这些组件有更详细的介绍 (MDM 2007)。

**选择战略性电机。**选择电机时要考量几个重点，如电机速度、马力、机箱类型、温度额定值、能效等级与供电质量。选购电机时，同时要可虑到电机的生命周期成本，而不只是最初的购买安装成本。电机使用期间产生的总成本，有高达 95%的成本是来自能耗，只有 5%的成本是来自采购、安装与维护 (MDM 2007)。生命周期成本法 (LCC) 是核算各种投资方案整体拥有成本的框架，有助在面对不同的电机采购维修或更换方案时，做出周全的决定。泵系统已有具体的生命周期成本计算指南(Fenning et al. 2001)，该指南对电机系统生命周期计算也有介绍。

挑选高效电机是降低电机系统生命周期成本很重要的一个战略。高效电机因为在设计上做了改善、使用的材料更好、容限更紧、制造技术有改进，能源耗损情况就可减少。只要安装正确，高效电机也可用于制冷机的运转(这样可以减少厂房采暖的负载量)，运转系数可更高、乘轴使用寿命更长、隔热寿命更长、振动较少。

在美国，高效电机必须要符合美国国家电子制造商协会(NEMA)公布的标准。能源效率联盟(CEE)对美国高效电机演变所做的描述，有助我们了解“高效”电机的由来(CEE 2007):

- 美国国家电子制造商协会能源效率(NEMA EE)起于 1980 年代中期，为市场上电机“能源效率”下了定义。美国国家电子制造商协会标准出版编号 MG-1(第三版)的表 12-11，为各类电机的能效下了定义 (NEMA 2002)。
- 1992 年的美国能源政策法案 (EPACT)， 要求在美国贩售的多种通用电机遵守美国国家电子制造商协会的“能效”评级。

- 1996 年的能源效率联盟顶级能效标准规范，意在推广能效高于 EPACT 要求的同等级高效电机。能源效率联盟明示的能效等级，一般要比 EPACT 要求的能效等级，高出二个 NEMA 能效等级(表 12-10，国家电子制造商协会标准出版编号 MG-1 第三版)。
- 2001 的美国国家电子制造商协会顶级高效电机规范，意在处理市场上号称超高效电机所引起的混淆情形。该规范由美国国家电子制造商协会、能效联盟与其他有关人员，根据能效联盟 1996 年的标准改编而成，目前是顶级高效电机的标准。符合 NEMA Premium<sup>®</sup>规范的电机也是名牌的表征。具体说，符合这项规范的电机有下列特性：
  - 转速：2、4、6 极
  - 大小：1-500 马力
  - 设计：国家电子制造商协会 A 与 B
  - 机箱类型：开放与关闭
  - 电压：低压与中压
  - 分类：通用、专用与特殊用途

是否安装顶级高效电机，很大部份取决于电机运行的条件与投资相关的生命周期成本。通常，通常以顶级高效电机取代每年运行超过 2000 小时的电机，会是最具成本效益。不过，MotorMaster+(见附录 E)等软件，可根据特定工厂的具体情况，以最具经济效益的方式，找出最适合使用顶级高效电机的地方。

有时以顶级高效电机取代现行使用的电机，回收期可能会更短。根据铜发展协会提供的数据，将高效电机与符合 EPACT 最低能效标准的电机做比较后，50 马力电机的回收期不到 15 个月 (CDA 2001)。回收期会因为电机大小、负载系数、运行时数、当地用能成本、是否有折扣与奖励金等因素，而出现差异(见附录五)。鉴于顶级高效电机的回收期很短，只要买得到，使用该类电机通常是很明智的决定(U.S. DOE and CAC 2003)。

美国国家电子制造商协会与其他单位规划了「电机决策要务」(Motor Decisions Matter<sup>SM</sup>) 宣导活动，以协助工商业客户评估是否要维修或更换电机、推广获得美国国家电子制造商协会注册的顶极电机，其经济效益最高的用法，以及在维修上的“最佳实践”，并支持在电机故障前，就制定好电机管理规划。

针对 Anchor Glass Container 公司在乔治亚州与佛罗里达州 2 个工厂所做的能源审计结果，以高效电机取代大型电机的回收期为 2.5 年或不到 2.5 年(OIT 2002)。

某些情况下，将既有的高效电机进行重绕，会比购买新电机要来得划算。根据经验，电机重绕成本如果达新电机的 60%，最好是买新电机 (MDM 2007)。进行电机重绕时，选择确实遵守电机重绕标准最佳实践的厂商，对降低潜在的能效损失，相当重要。电子设备服务协会(EASA)将获得美国国家标准学会(ANSI)核准的最佳实践标准，作为维修与重绕电机的标准 (EASA 2006)。只要采用最佳实践，能效损失通常会不到 0.5%或 1% (EASA 2003)。不过，重绕质量要是不佳，能效可能会更差，所以事先询问电机服务中心是否有采纳 EASA 最佳实践标准，是相当重要的。

**维护。**维护电机的目的在于延长电机寿命并预知电机何时可能会出现故障。电机维护措施可分为预防性或预测性。预防性措施的目的在于避免电机意外出现故障，包括考虑用电量、降低电压不平衡、考虑负载量、与电机的通风、校准与润滑。预测性措施的目的在于持续观察电机运行的温度、振动情况与其他运行数据，以找出电机故障前，进行检查或更换的必要时机 (Barnish et al. 1997)。持续对电机进行维护，可产生相当可观的节能量，可达电机系统总能耗的 2%至 30% (Efficiency Partnership 2004)。

**适当的电机大小。**电机大小不正确会导致不必要的能量损失。如果可以调降依靠电机驱动的设备峰值负载，那么电机大小也可以做调整。在美国，以大小适中的电机取代过大的电机系统，总体能耗平均可减少 1.2% (Xenergy 1998)。小型电机与独立的电机系统，所产生的节能量更大。

要确定电机大小是否合适，必须要有下列数据：电机负载量、电机负载时的运行效率、拟换用电机的满载速度、被更换电机的满载速度。美国能源部最佳实践项目提供的简要资料，可协助决定是否要更换尺寸过大电机与负载不足的电机 (U.S. DOE 1996)。此外，套装软件如 MotorMaster+ (见附录五) 在大小适中的电机上，也可提供协助。

**可调速驱动器(ASDs)<sup>24</sup>。**可调速驱动器可将电机运行时的负载需求与速度做更好的搭配，以确保电机在特定用途上的能耗是经过优化的。全球贩卖可调速驱动器的供应商很多。Worrell 等人(1997)曾就不同用途的可调速驱动器所产生的节能量，进行简介；节能量一般介于 7%至 60%之间。

---

<sup>24</sup> 实务上，描述允许不同速度进行机械负载的电机系统的词汇很多，包含可调速驱动器(ASDs)、变速驱动器(VSDs)、可调频驱动器(AFDs)与变频驱动器(VFDs)等。为求一致，本指南全文使用可调速驱动器。

美国能源信息管理局在 1994 年进行了一份调查，接受调查的玻璃制造商，60%以上使用可调速驱动器(EIA 1997)，这意味推广可调速驱动器在玻璃行业的运用，潜力仍然很大。

Anchor Glass 公司在美国能源部的支持下，在其位于乔治亚州 Warner Robins 与佛罗里达州 Jacksonville 二地的瓶罐玻璃厂，就各项节能措施进行了能源审计，结果发现节电量最大的地方，为加装了可调速驱动器的冷却水泵，安装目的在于优化冷却水塔的流量与压力(回收期 1.8 年)。审计人员同时发现，可在炉窑鼓风机与烟囱排烟鼓风机(回收期 1.7 年)与玻璃成型处理的冷却鼓风机(回收期 1.8 年)上，加装可调速驱动器(OIT 2002)。冷却水泵安装可调速驱动器，每年可节电 524600 千瓦时，在炉窑鼓风机安装可调速驱动器，节电潜力为 808400 千瓦时。美国多个案例研究显示，回收期平均不到 2 年(IAC 2005)。

Automotive Components Holdings 公司位于田纳西州 Nashville 市的汽车玻璃工厂,将其旧泵换成加装了可调速驱动器的小型泵后(OIT 2003)，不仅节能，也能节约用水，减少处理水时需要添加昂贵化学剂的用量，且因为泵驳不会再发生触电危险，工厂安全性因而提高，同时由于新泵有旧泵没有的远端监控功能，人力成本也因而减少。项目总成本为 350,000 美元，每年省下的成本约 280,000 美元，回收期约 15 个月。每年的节电量为 320 万千瓦时或相当 98,000 美元。

康宁公司位于俄亥俄州 Greenville 市的特殊玻璃工厂进行了能源审计，结果发现可调速驱动器的用途相当广。模具冷却风机电机上安装可调速驱动器，每年估计可节省 700 兆瓦时(相当一年节约 20,000 美元)，回收期约 1 年。冷却循环电机上安装可调速驱动器，一年可节约 200 兆瓦时，回收期约 1.2 年，而在机器冷却循环电机安装可调速驱动器，一年可节电 100 兆瓦时，回收期约 2.8 年(US DOE 2004b)。

英国威尔斯生产隔热玻璃棉的 Knauf Insulation 公司，在重点轴流风机电机上安装可调速驱动器，相较于先前使用的旧式定速风机驱动器，一年节能 55% (CADDET 2003)，一年节电量估计为 3.8 兆瓦时，连带减少因用电造成的二氧化碳排放量 1600 吨。本项目的回收期不到 2 年。

**功率因子校正。**电感负荷如变压器、电动机与电子镇流器可能会造成功率因子偏低。功率因子偏低可能会导致用电量增加，进而造成用电成本增加。通过降低电动机的怠机时间(关闭电机就不会有能耗)、换用顶级高效电机(见前述)与在交流电路安装电容器以降低电机系统无效功率的幅度等方法，可校正功率因子。

**将电压不平衡降至最低。**电压不平衡会降低三相电机的效能和缩短其使用年限，同时引起电流不平衡，进而导致转矩振荡、增加振动与机械压力、能耗增加与电机过热，这些会降低电机绕线的隔热寿命。电压不平衡可能是对功率因子校定设备、变压器组不平衡或断路电压的不当操作所造成的。根据经验，电机端子出现电压不平衡的现象不应超过 1%。部份负载运转时，只要电压不平衡达 1%，电机效率就会变差；满载运转时，只要电压不平衡达 2.5%，电机效率会变差。

如一年运转 8000 小时、马力为 100 的电机，其电压不平衡现象能从 2.5%降至 1%的话，一年可节电 9500 千瓦时或 500 美元(在电价为 0.05 美元/千瓦时)(U.S. DOE 2005b)。

透过定期监控电机端子的电压，并以热像法检测电机，可侦测到电压不平衡。同时建议确认单相负载有平均分配，并依规定装设接地故障指示设备。另一电压不平衡的讯息是振动达 120 赫兹，此时应该立即检查电压平衡度(U.S. DOE, 2005b)。在美国，低负载电机安装电压控制设备的回收期一般是 2.6 年(IAC, 2006)。

**高效运送带(齿形带)。**在大多数的工厂，皮带是整体电机驱动系统中不固定，但很重要的部份。将标准 V 型带更换为齿形带，可节能节费，即便只是进行改造，都有同样的效果。齿形带运转温度更低、使用寿命更长、维护较简单、效率比标准 V 型带高约 2%(U.S. DOE 2001b; CIPEC 2001b)。升级至高扭矩齿形带的节能效果要比标准 V 型带高出 6%(CIPEC 2001b)。将 V 型带换成齿形带后，电机负载会下降 2%至 10%(Price and Ross 1989)。CIPEC (2001b)估计将标准 V 型带更换为高效齿形带的回收期约 6 个月到 3 年。各玻璃部门(玻璃纤维、平板玻璃、瓶罐玻璃与特殊玻璃)的多个案例研究显示，玻璃行业安装高效齿轮带的回收期平均不到 10 个月 (IAC 2005)。

康宁公司在位于俄亥俄州 Greenville 市的工厂，将原本使用皮带驱动的设备换成高效齿形带进行驱动后，估计一年节电 200 兆瓦时，且立即就回本(U.S. DOE 2004b)。

**开关磁阻电机驱动器。**开关磁阻电机驱动器不是新的技术，但这几年经过改善，并结合可调速驱动器与高效电机。开关磁阻电机可变速，控制较精确，且有高转矩与高效率的特色 (Martin et al. 2000)。由于这仍属新兴技术，尚无玻璃工厂采行的文献案例。

## 5.4. 照明

照明不是用于玻璃液澄清、储存与办公室的整体照明，就是在特定地点提供低隔间照明或工作岗位照明。鉴于玻璃制造工艺的能源强度相当高，相较下，照明用的能耗很少。根据 2002 年的 MECS 数据，玻璃行业照明的用电量估计占整体用电量的 5%，尽管这比重会因工厂而异。

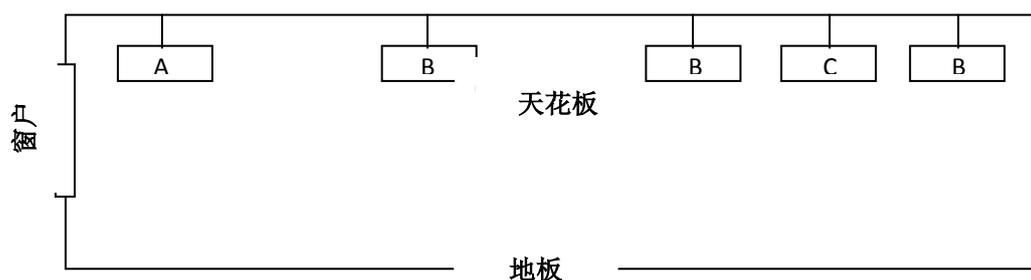
HID 氙气灯通常用于厂房的照明，包括金属卤灯、高压钠光灯、水银灯。荧光灯、CFL 节能灯泡与白炽灯通常用于工作岗位与办公室照明。建议工厂上下都要执行照明控制。Green Lights 是整合入美国环保署能源之星项目的一个自愿性项目，该项目提供节约照明费用的便宜方法，网址 <http://www.epa.gov>。照明可产生相当多的热能，因此，与节能照明相关节约包括暖通空调的运行成本与能耗，节约幅度要视当地气候与天气状况 (Sezgen and Koomey 2000)。

**照明控制。**在非工作时段，照明灯可以通过如人体感应传感器等自动控制器自行关闭。人体感应传感器可节约厂房照明能耗 10-20%。美国多个案例研究显示，安装传感器的回收期平均为 1 年(IAC 2005)。

小区域可同时使用手动控制器与自动控制器，进一步降低能耗。最简易的方法之一，是安装开关让处于该空间的人员自行操作。同样重要的是，要让员工了解没有人时要随手关灯的重要性(EDR 2000)。其他照明控制包括室内室外照明的日间照明控制，这控制装置可根据光线强度调整电动照明的强度。

图 7 为节能照明控制器的示例，该图为一工作空间有 5 排高架照明灯。一天光线最亮时，充足的光线可透窗而入，所以只有需要开启 C 排的灯。光线亮度下降时，B 排灯光会开启，而 C 排灯会关闭。只有夜间或很暗的时后，才会开启 A 排与 B 排的灯 (Cayless and Marsden 1983)。应对既有的照明度的方法可作为改造时的控制战略。例如，在一天最亮的时后开启离窗最远的那排灯，其他时后再开启其他(辅助)排的灯。

图 8. 照明位置与控制



OSRAM Sylvania 公司位于新罕布什尔州 Exeter 市的工厂进行能源审计后，找出安装照明控制系统可节电 96 兆瓦时 (D'Antonio et al. 2003)，这等于节约 50%的照明用电与整厂用电需求的 0.4%。OSRAM Sylvania 公司的工厂采用电熔窑生产照明系统需用的特殊玻璃。

*关闭无人使用空间的灯光。鼓励员工关闭没人使用的建筑空间的灯光，是简单有效的做法。要提高员工节能意识的能源管理计划，可协助员工养成不用时，随手关灯与关闭其他设备的习惯。*

**出口标示—发光二极管(LEDs) 或镭灯。** 降低用能成本的简单方法之一就是 will 出口标示灯的白炽灯换成 LED 灯或镭灯。白炽灯耗电 40 瓦，LED 灯为 4-8 瓦，省电幅度达 80-90%。1998 年照明研究中心进行得一份调查结果显示，市售出口指示灯有 80%为 LED 灯(LRC 2001)。使用 LED 出口指示灯的寿命约 10 年，白炽灯约 1 年，可省下相当多的费用。除了出口指示灯，道路照明与紧急寻路系统照明使用 LED 灯的情况也增多。由于 LED 的使用寿命长、运行温度低，又可嵌入塑料材料，让它的用途变得更广 (LRC 2001)。

新的 LED 出口指示灯，一个成本为 20 美元至 30 美元，与改造既有指示灯的工具成本近似，回收期只有 6 个月。美国环保署能源之星计划提供出售 LED 出口指示灯的厂商名单。

另一种选择是可自行发光、完全不用电的氙出口指示灯，使用寿命约 10 年，单个成本约 200 多美元；由于价格高，使用的最佳时机是新建筑物或无法取得电力时；类似情况也可使用零能耗的镭条灯。

**以荧光灯或紧凑型荧光灯取代白炽灯。** 荧光灯的使用寿命比白炽灯长 10 倍，照明效果是白炽灯的 3 倍多(U.S. EPA 2001a; Honda 2001)。紧凑型荧光灯的能效是最大的。市面上有各种可以适用不同灯具的紧凑型荧光灯。

**以 T-8 直管荧光灯取代 T-12 直管荧光灯。** 在很多工业厂房可看到 T-12 直管荧光灯<sup>25</sup>。T-12 直管荧光灯耗电量极大、照明效果很差、使用寿命短、光通量会衰减、显色性差。

---

<sup>25</sup> T-12 直管荧光灯的直径为 12/8 英寸("T-"是代表管路直径以每 1/8 英寸增加)

所以，T-12 直管荧光灯的维护成本与用能成本很高，将 T-12 直管荧光灯换成 T-8 直管荧光灯可加倍提高 T-12 直管荧光灯的能效。且 T-8 直管荧光灯的使用寿命一般要比 T-12 直管荧光灯多出 60%，进而节省维护成本。以 T-8 直管荧光灯取代 T-12 直管荧光灯，可节能 30%左右。根据美国多家工业厂房的经验，将 T-12 直管荧光灯换成含电子镇流器的 T-8 直管荧光灯，估计可节能 0.25-0.30 美元/千瓦时。

由于 T-8 直管荧光灯与镇流器有多种型号，务必要与供应商及制造商就整体的汰换，进行合作。

工业上一般是用 T-12 直管荧光灯。T-12 是指管径为 1/8 英寸的 12 倍(即管径为 12/8 英寸或 3.8 cm)的荧光灯。T-12 的初始输出功率较高，但能耗也较高。T-12 直管荧光灯的效率低，灯寿命短，易光衰，显色指数低。维护和能源成本也都很高。用 T-8 直管荧光灯替代 T-12 后，能效可近乎提高一倍，进而省电(Worrell and Galitsky, 2004)。

EMT (2008j) 报告说，将 1196 个普通直管灯泡换成省电直管灯泡后，一年省电 114 兆瓦时，此一改造投资成本据报为 26,800 美元。Sathaye 等人(2005)报告的案例，是将 1172 个直管灯泡与电感镇流器(如下)换成 880 个省电直管灯泡与 440 个电感镇流器，结果一年节电 150 兆瓦时，投资成本据报约 11,000 美元，不到前面案例投资成本的一半。

吉列公司位于加州斯塔摩尼卡的制造厂房，将 4300 个 T-12 直管荧光灯换成 496 个金属卤化灯，并将 10 个手动开关换成 10 个日光开关(U.S. EPA 2001a)。一年节电 58%，相当 128,608 美元。该项目成本为 176,534 美元，回收期不到一年半

同样地，康宁公司对位于俄亥俄州 Greenville 市的特殊玻璃制造厂进行能源审计后，找出与此节能措施相关的节电机会一年为 200 兆瓦时，资本成本 5,000 美元，回收期为 0.6 年(US DOE 2004b)。

以金属卤化灯或高压钠灯取代水银灯。强调色彩还原的地方，可用金属卤素灯取代水银灯或荧光灯，节能效果达 50% (Price and Ross 1989)。如果色彩还原不很要紧，高压钠灯的节能效果要比水银灯高出 50%至 60%。节能之外，金属卤化灯的照明效果较好、发散的光线能传送到整个工作场所、运行成本较低 (GM 2001)。高压钠灯的照明能效是最高的。

**高强度荧光灯。**可用高强度荧光灯(HID)来替代传统的金属卤化灯。新的系统把高效荧光灯、电子镇流器以及高效灯具整合起来，能使工作场所的输出功率最大化。新系统的优点有很多：低能耗、灯的整个寿命期内光衰较低，较好的调光性、启动快、重启迅速、显色好和较高的初始透光率和低眩光(Martin et al. 2000)。高强度荧光灯系统比金属卤化灯节能 50%。由于新系统有金属卤化灯上难有的调光控制，故能大量节能。改造系统时，连同安装费在内每套灯具的成本约 185 美元(Martin et al. 2000)。节能与照明质量较佳以外，高强度荧光灯同时可提高生产率，降低维护成本 (Worrell and Galitsky, 2004)。

**降低氙气灯(HID)瓦数。**降低照明系统的瓦数也有节能效果。丰田汽车公司的一个工厂在安装较低瓦数的氙气灯后，省下 30%的照明用电(Toyota 2002)。市场上贩卖的几款产品，可连接至由计算机控制的中控开关并限制输送至照明灯具的电流，进而能达到降低瓦数与节能的效果，同时却不会感到光线有减弱的现象。

**电子镇流器。**镇流器是调节照明设备启动时所需电量并维持光线输出量稳定度的一种机关。电子镇流器比电感镇流器省电约 12%至 25% (U.S. EPA 2001a)。电子镇流器也有调光功能(Eley et al. 1993)。如果镇流器能有日光感应、人体感应传感器与手动调光等功能，节能效果可以高于 65% (Turiel et al. 1995)。

**反射片。**反射片是“如同镜子”般的高度抛光组件，可将光线向下传导，减少光线在灯具内流失的情形。由于反射片可将少量光线做更有效地处理，瓦数需求也因而降低。

**自然采光。**自然采光是将自然光做有效运用，以减少建筑物需要的人造光用量。提高室内自然光的用量，可减少人工照明用电负载达 70% (CADDET 2001)。不同于传统天窗，高效自然采光系统在不增加热度的情况下，可均匀地传散光线。相较于天窗，降低热度可减少冷却的用量。自然采光因为与建筑设计整合为一体，有别于其他节能措施，所以主要用于新建筑并纳入设计阶段。不过既有建筑可改用便宜的自然采光系统。市面上可买到多种自然采光系统；其中有几款可作为改造既有建筑的工具。

将自然采光与照明控制并用，可大幅提高照明效果。由于自然采光并不稳定，通常要辅以人工采光，以提供阴天与晚上需用的光线(见图 8)。自然采光技术包括窗户安装地点要正确、遮光效果要适中、半圆窗、角窗或传统(平面)天窗、通风窗、轻型架和光导管。通风窗、轻型架和光导管根据太阳照射的角度，通过墙壁与反射片，将阳光导引至不同的方向。

厂房内不是所有地方均适合采用自然采光。白天班员工工作的地方最适合采用自然采光。办公空间如采用自然采光，可节电 30%至 70%(CADET 2001)。节能量会因为厂房与建筑的不同而出现差异。工业建筑使用自然采光出现问题，多与建筑结构有关系。厂房屋顶如是平的，系统暴露于紫外线多年后，已发现会有自然光渗漏与起雾状况出现。

有自然采光技术的公司很多，更多信息可在威斯康辛能源中心负责的自然采光合作网址找到(<http://www.daylighting.org/>)。自然采光系统的回收期约 4 年，有时回收期更短。

**改善照明系统。**通过整合前述多项节能措施，照明系统可以最有效、最全面性的做法降低照明能耗。高频镇流器与反射片在合并能效差 50%的高频荧光灯管使用后，可产生 90%的照明效果，同时能耗要比原先减少 50%至 60%(Price and Ross 1989)。密西根一栋办公大楼使用高频荧光灯镇流器来改造其照明系统，结果照明能耗减少 50%，整栋大楼的电耗减少近 10% (Price and Ross 1989)。有家制造厂房将荧光灯具换成金属卤化灯后，也看到相同的节能效果。改善照明系统通常可改善照明并降低能耗。

Electric City 公司是 EnergySaver 组件的供应商，该组件连接至由计算机控制的中央面板开关，可以控制流至灯具的电量，在降低照明瓦数并节能的同时，却不会感到光线变弱。另外，Bristol Park Industries 公司有个获得专利、名为 Wattman<sup>®</sup>的照明瓦数控制器，该控制器可用于氙气灯与荧光照明系统，可产生近似的节能效果(Bristol Park Industries 2002)。

## 5.5. 热能与蒸汽配送

玻璃行业与矿棉工业的锅炉处理容量相当小。2002 年时，玻璃与矿棉工业锅炉的燃料用量估计为 2 TBtu 天然气<sup>26</sup>。由于玻璃行业使用非天然气燃料的情况很少，锅炉生产蒸汽要使用 2 TBtu 的燃估算料应属合理。蒸汽可以用于润湿配合料。有些玻璃工厂使用蒸汽锅炉生产蒸汽，作为备用发电。石材工业、粘土工业及玻璃行业使用的锅炉容量大多数为中型规模，这说法也适用于玻璃行业。尽管锅炉的能耗相对偏低，蒸汽系统仍可采行节能措施，进一步降低蒸汽用量。

**锅炉为蒸汽发电系统的核心。**主要节能措施列于下。这些措施着重改善工艺流程的控制、降低热能损失与改善热回收。除了下面介绍的节能措施，建造新锅炉时，其配

---

<sup>26</sup> 其他燃料用量的数据没遭隐瞒或无法取得(以避免泄露专有数据)。

置应该要量身定做。早期的锅炉设计通常已过时了，无法配合个别蒸汽系统的需求 (Ganapathy 1994)。不过，有位专家声称很多包装锅炉的设计“相当先进且运行效果相当好”(Harrell 2005)。

**锅炉 – 改善工艺流程控制方法。**烟气监控器可将火焰温度保持在最合适的温度，同时监控一氧化碳、氧气和烟的含量。废气中的氧气包括过量空气(刻意用来提高安全性或降低排放量)和渗漏的空气(渗入锅炉的空气)。将氧气监控器与进气气流监控器并用，甚至连些微的泄漏都可侦测出来。空气渗漏 1%会造成氧气读数增加 20%。废气中的一氧化碳或烟含量过高，代表燃烧燃料的空气不足。同时观察一氧化碳和氧气的读数，可以将燃料/空气作最佳的混合，以产生高温火焰，进而获致最高能效并将滴污染空气的排放量。我们假定这措施可应用在锅炉，是基于小型锅炉的初期资本成本不会太高。

**锅炉 – 减少烟气量。**通常过多的烟气会由锅炉和烟道渗出，这不仅减少蒸汽的热能，同时增加抽气的必要性。通常渗漏不难修复，节能量可达 2%至 5% (U.S. DOE 2001a)。这方法不同于监控烟气，是根据肉眼侦测的结果，定期做维修。采行这措施与监控烟气流带来的节能量不能相加，因为处理的是同一批渗漏。

**锅炉 – 减少过量空气。**燃烧燃料的空气用量愈多，浪费在加热空气的热能就愈多，而用于生产蒸汽的热能就减少。基于安全与降低氮氧化物排放量的考量，空气用量比理想的燃料/空气计量比稍微偏高是必要的，但 15%左右就足够 (U.S. DOE 2001a; Ganapathy 1994)。尽管实际用量要看锅炉使用的燃料种类。以煤炭与木材为例，所需空气量可能会高些。维护不当的锅炉所含的过量空气可能高达 140%，但这情况很少见。将空气用量降至 15%，就算不采用连续自动监测，仍可节省 8%的燃料用量。根据经验，过量空气每减少 15%，或烟气温度每降低华氏 40 度(摄氏 22 度)，锅炉能效可提高 1% (U.S. DOE 2001a)。CIPEC (2001a) 预测将烟气的氧气含量减少 1%，锅炉能效将增加 2.5%，不过这数值将因为原始烟气含氧量的不同而出现差异 (Harrell 2005)。多个案例研究已显示，减少过量空气的回收期约 5 个月 (IAC 2005)。

**锅炉 – 设计尺寸正确。**以正确的蒸汽压设计系统，可通过降低烟气温度、减少管路辐射损失与减少阀与其他组件的漏损，实现节能。一份针对加拿大 30 个锅炉厂的研究显示，采用本措施带来的节能量介于整体气体用量的 3%至 8% (Griffin 2000)。压力低于 70 psig 时，节能量最大。

**锅炉 – 改善保温。**使用新材料可有较佳的保温效果与较低的热容量(因此缩短加热时间)。改善保温并使用较好的加热器电路控制，锅炉外壳热损的情况就可减少 6%至 26%。要

将旧火砖系统的输出温度保持在一定幅度，必须要改善控制。由于陶瓷纤维的热容量较低，加热组建的输出温度易受到变动(Caffal 1995)。另一个好处是锅炉启动时，加热速度较快。美国一家玻璃纤维制造厂加装保温后，回收期不到 4 个月 (IAC 2005)。

**锅炉 - 维护。**实施简单的维护项目可确保锅炉的各个组件能在最佳状态下运行，进而大量节能。系统如缺乏良好的维护，燃烧炉与冷凝水回收系统可能会出现磨损或走位情况，如此会造成蒸汽系统的能耗在 2 年至 3 年内增加 20%至 30% (U.S. DOE 2001a)。估计节能量平均为 10% (U.S. DOE 2001a)。加强维护可减少法定空气污染物的排放量。

对于锅炉靠火那端的积垢或靠水那端的垢结程度进行控制。积垢情形多发生在燃煤锅炉，较少发生在燃烧天然气或燃油锅炉，所以要经常检查使用煤等固体燃料的锅炉，因为其结垢机率要高于使用液态燃料的锅炉。试验证明，0.03 英寸(0.8 毫米)厚的煤烟会降低传热度 9.5%；厚度 0.18 英寸(4.5 毫米)的煤烟会减少传热度 69% (CIPEC,2001 a)。水垢方面，积垢达 0.04 英寸(1 毫米)，燃料用量会增加 2%(CIPEC,2001 a)。且结垢会造成炉管无法使用。

**锅炉 - 回收烟气的热能。**根据 CIPEC (2001a)的报告，回收烟气的热能是锅炉房进行热回收的最佳来源。烟气所含的热能可用在省煤器以预热锅炉给水。尽管大型锅炉常采用这方法，但回收更多热能的潜力仍大，尤其是小型锅炉。

自烟气回收热能的局限在于，工厂必须确保省煤器壁边温度不至于低过烟气所含酸性物(如石化燃料所含硫成分的硫酸)的露点温度。传统做法是让省煤器内的烟气，在远低于露点腐蚀温度下释出。实际上，由于水的热传导系数较高，省煤器壁边温度受到给水温度的影响，远大于烟气温度。所以，省煤器添加给水前，先行预热至露点腐蚀温度，较合常理。省煤器的设计最好能让释出烟气的温度只比露点腐蚀温度稍高。通常，废弃温度每降低华氏 45 度(摄氏 25 度)，燃料用量可减少 1% (Ganapathy 1994)；不过，节能量会因使用的燃料种类与过量空气的浓度。由于大部份锅炉的余气温度已相当低，但仍可多加利用前述给水所含的高温，估计这样做可节省 1%的能量。

**锅炉 - 回收冷凝水。**回收锅炉的冷凝水可以节能，降低处理后给水的需用量，并回收摄氏 100 度(华氏 212 度)高温的水。淡水通常要经过处理，才能除去累积在锅炉的固体杂质，而回收冷凝水可大幅减少处理水过程化学物的采购量。由于这方法可省下大量的能源成本与化学物的购买成本，应该要考虑建造一个冷凝水回收管路系统。不过，便于执行这作法的大多数厂房早已采用这方法。这方法产生的节能量估计约 10%，回

回收期约 1.1 年(U.S. DOE 2001a; Harrell 2005)。回收冷凝水的另一个好处是，给水质量提高后，排污率就下降 (Harrell 2005)。

如果没有便于使用的蒸汽管道，通常可使用冷凝水闪蒸以“简易淋湿”直接接触的方式，将水加热。

**锅炉 – 回收排污所含的蒸汽。**当水从高压锅炉槽(蒸汽包)排出时，瞬间的压降常会产生大量的蒸汽。蒸汽的质量虽然不佳，却可用于室内采暖与给预热水，估计这方法可节省小型锅炉 1%至 2%的燃料用量<sup>27</sup>。Einstein 等人(2001)预估回收期约为 2.7 年。节能之外，回收排污热能可降低蒸汽系统管路腐蚀的可能性。系统的运行成本会因而微稍增加。

康宁公司位于俄亥俄州 Greenville 市的工厂进行能源审计后，找到可节省一点燃料的做法，就是以排污产生的蒸汽制造低压蒸汽(U.S. DOE 2004b)。简单回收期估计为 1.8 年。

**锅炉 – 以优化过的新锅炉取代过时的燃烧炉。**将能效低的锅炉换新，可提高能效并降低碳排放量。

由于蒸汽与热水配送系统的分布范围通常相当广，经常成为工厂能量损失的主要来源。建立蒸汽配送系统的目的很单纯：就是将蒸汽从锅炉配送到需要用到蒸汽的工艺流程。降低能量损失的方法同样也很简单：留住更多的热能，用过热能后要回收。

**配送 – 改善保温效果。**使用更多的保温材料或使用高质量的保温材料，可以节约蒸汽系统的用能。选择保温材料的重点包括：低导热性、大小不会因为温度发生变化而改变、不会吸水、不会燃烧等。取决于采用保温的目的，保温材料的其他特性也可能很重要。这些特性包括：能忍受剧烈的温度变化与系统的剧烈震动，以及轴保温所需的高抗压强度 (Baen and Barth 1994)。根据美国能源部蒸汽挑战项目的执行成果，改善既有热能配送系统材料的保温性，可节约 3%至 13%的用能，回收期为 1.1 年(U.S. DOE 2001a; Einstein et al. 2001)。美国特殊玻璃与玻璃纤维行业的多个案例研究显示，对蒸

---

<sup>27</sup> 基于以下假设：排出 10%的锅炉水(U.S. DOE 2001a) 与回收排污中 13%至 40% 的热能 (Johnston 1995, Harrell 2005)。Harrell (2005)声称多数系统可自回收的闪蒸汽中回收 40%以上的排污热能(实际数据取决于系统运行的压力)，同时可进行第二阶段排污热能回收，以回收 40%以上的热能。

汽管路与蒸汽系统进行保温，回收期不到 6 个月(IAC 2005)。CIPEC (2001a)估计在 10 英尺(3 公尺)长、4 英寸(10 公分)宽的蒸汽管道上进行保温，回收期不到 6 个月。

**配送 - 保温维护。**常见工厂虽然修复了热能配送系统，却没更换保温系统。此外，有些保温材质在正常耗损下，会出现脆裂或腐坏。因此，定期检查、维护保温系统可以节约能源 (Zeitz 1997)。我们没有节能量与回收期的确切数据，且现有做法会造成这些数据出现差异。

**配送 - 改善蒸汽疏水阀。**蒸汽疏水阀使用最新的自动温度调节装置，不仅可节能，稳定度也高。蒸汽疏水阀的主要优点是，当温度相当接近饱和蒸汽的温度(华氏 4 度或摄氏 2 度以内)时，疏水阀会开启，迫使非冷凝气体排出，且启动蒸汽系统时，预热时间短。疏水阀的优点还包括：可靠性高、适用于不同的蒸汽压 (Alesson 1995)。美国一家压制玻璃器皿工厂在安装新的蒸汽疏水阀后，不到 5 个月就回收成本(IAC 2005)。每年节约 2,372 MMBtu 的天然气。

**配送 - 维护蒸汽疏水阀。**建立一个单纯的蒸汽疏水阀检查项目，用以确保疏水阀能正常运行，可以最小的成本换取最大的节能量。定期检查蒸汽疏水阀并进行后续维护，预估可节约用能 10% (U.S. DOE 2001a; Jones 1997; Bloss 1997; Harrell 2005)。Einstein 等人(2001)预估这样做回收期不到 1 年。虽然回收期很短，但因为维护成本与用能成本的预算规划是分开进行的，故采行这做法的工厂并不多。节能与省钱之外，蒸汽疏水阀运行正常也能减少蒸汽配送系统出现腐蚀的情况，长期下来可节约更多能源与成本。

**配送 - 自动监控蒸汽疏水阀。**在蒸汽疏水阀上加装自动监控器，同时进行维护项目，可节约更多能源却不会增加大量的额外成本。这系统比单独进行蒸汽疏水阀维护更好，因为蒸汽疏水阀出现故障时，信息传递更快，还可侦测蒸汽疏水阀未能以最高效率运行的时间点。使用自动控制器带来的节能量，保守估计要比仅对蒸汽疏水阀进行维护，要多出 5%，回收期约 1 年<sup>28</sup> (Johnston 1995; Jones 1997)。可以对蒸汽疏水阀进行维护的系统，也比较有可能安装自动控制器。不过，要对控制器进行维护，可能要多花一点运行成本与维护成本。

---

<sup>28</sup> 以英国所得回收期 0.75 年的结果进行进算。在美国，回收期较长是因为两国资本成本类似，但美国能源价格较低。

**配送 – 修复漏损。**如同蒸汽疏水阀，没有定期的检查维护项目，将无法觉察输送管本身是否出现漏损。除了可节约 3%的用能成本，采行这项目也可减少要修复严重漏洞的情况，长期下来将可节约更多的能源 (U.S. DOE 2001a)。

**配送 – 回收闪蒸汽。**当蒸汽疏水阀将冷凝水从高压蒸汽配送系统排放到一般环境压力时，闪蒸汽就会形成。如同锅炉排污时产生的闪蒸汽，这些蒸汽可用于室内采暖或预热给水 (Johnston 1995)。这做法的节能潜力很大部份取决于工厂本身的情况，因为玻璃制造商兴建一个全新的管路系统，以便将质量差的蒸汽配送到所需的工艺流程的可能性不大。相反的，如果用得到质量较差蒸汽的地方，很接近蒸汽疏水阀的话，采行这项做法的可能性就高些。

## 5.6. 其他跨工艺流程的节能措施

**暖通空调 – 建筑围护。**用于保温的建筑维护，可隔绝因气候(冷天或热天)引起的室内温差变化。例如，地处多阳炎热气候的建筑物屋顶如使用反光涂料，可节省室内空调的支出。位于北加州的两家医院在其建筑物屋顶上使用反光材料，夏日期间，一家的每日空调能耗量减少 13%，用能需求减少 8%；另一家每日空调能耗量减少 18%，用能需求减少 12% (Konopacki et al. 1998)。在较冷的气候区，因(在冬天)使用冷屋顶造成的热损也要纳入考量，因为冷屋顶会抵消节能量。除了建筑物所在的地点与气候区，影响节能量的其他主要原因包括：屋顶保温性、空调能效与建筑物的使用年数。屋顶反光材料有不同的款式与颜色供选择。

在平屋顶上设置屋顶花园可改善建物的保温效果，通过提供保暖与空调，可避免建筑物出现过热或过冷现象。冬天时，由于绿屋顶结冻之固，会出现少许保暖代偿损失，但净节能量仍为正值(Holtcamp 2001)。当温度骤降降至冰点以下时，严寒地区屋顶的表面平均温仍有华氏 32 度(摄氏 0 度)。另外，屋顶花园可延长屋顶的使用寿命，减少未被土壤吸收的雨水径流，减少空气污染与灰尘。目前，德国安装的绿屋顶面积，一年超过 1000 万平方英尺，给予金钱奖励，或多或少会有帮助 (Holtcamp 2001)。Gap 公司 1997 年在加州 San Bruno 市的总公司安装了绿屋顶(Greenroofs.com 2001)。除了比传统屋顶更节能、使用寿命更长之外，这些绿屋顶还可以吸收雨水、减少流入当地暴雨水沟的径流流速。

低辐射能窗可以降低穿过玻璃的热度，进而提高保温效果。低辐射能窗有二类：高太阳投射比(冬天电费帐单高的地区适用)与低太阳投射比(夏天电费帐单高的地区适用)(U.S. DOE 1997)。

某些情况下，还有其他降低用能的简单方法。遮阳树可降低高温气候的温度。遮阳树应是落叶树(夏天可遮阳，冬天不遮阳)并种植在建筑物的西南方。在寒冷气候的建筑物的北方种树，因为有树可挡风，可减少建筑物冬天采暖的用量。藤本植物也有遮阳挡风效果。

**其他暖通空调的节能措施。**商用建筑采行的其他暖通空调节能措施也适用有些玻璃制造厂房，尤其是有相似设计的办公建筑。例如，将温控器的设定点重新调整几度，就有可观的节能效果。提高输送管的保温性并修补输送管的漏洞，能为住宅与办公楼房省下大量的能源。研究证实，加州房屋有 30%至 40%的热能是从这些输送管漏洞与墙壁间的埋管流失了 (Jump and Modera 1994)。加州 Apple Valley 市的一栋建筑使用移动式发泡密封剂喷射系统来减少输送管漏损现象。这方法可将输送管漏损量从 582 cfm 降至 74 cfm，同时提高暖通空调的能效达 34%。

**高效变压器。**变压器是将某一瓦数转换成另一瓦数的一种电器。大多数的商业与工业建筑都要求要有多个变压器，以便将电力公司输送的电压降至照明、计算机、设备与其他室内用电器所使用的电压 (U.S. EPA 2001b)。变压器在玻璃行业的重要功能，是提供电熔窑或燃料锅炉电助熔所需电力。分析 OSRAM Sylvania 公司位于新罕布什尔州 Exeter 市的玻璃工厂的用电情况后发现，因变压器引起的电能损失约占总用量的 12% (D'Antonio et al. 2003)。

商用及工业用变压器的使用寿命介于 25 年至 35 年之间，通常使用寿命与使用这些变压器的工艺一样久。取决于变压器的大小，有能源之星标识的变压器一年可省下 100 美元至 300 美元的电费(以每千瓦时 0.75 美元的费率计算)，回收期平均为 2 年至 5 年 (U.S. EPA 2001b)。根据 Haggerty 等人的研究(1998)，提高移相变压器的能效可将整体的能耗损失与能源成本降至最低。节能之外，高效变压器可减少六氟化硫的排放量，六氟化硫是种为害性相当大的温室气体。

OSRAM 公司位于 Sylvania 市的厂房在换用高效变压器后，可减少变压器能损 10% (相当厂房一年用电量的 1%)，一年可节省 24,000 美元(D'Antonio et al. 2003)。

**热电联产。**对于使用热能、蒸汽与电力的工业而言，采用热电联产系统可以节能并减少污染。使用热电联产的工厂，由于可以利用余热，其能效要比使用标准电力的工厂来得要高。再者，在厂内或工厂附近使用热电联产系统，也可减少配送造成的能耗损

失。热电联产也可作为备用电力；Guardian 位于日内瓦与纽约的浮法玻璃厂安装了装机容量 2 兆瓦的发电机，以备供电停摆时可提供厂房所需电力 (Anon. 1998a)。

不过，由于玻璃行业的蒸汽用量很少(如上)，使用传统的热电联产效果不见得好。目前，美国玻璃工厂的蒸汽量偏低，使用气涡轮推动的热电联产系统不符成本效益。但技术不停的发展，加上热能可能会有特定的用途，未来使用热电联产的效果不见得不好。

热电联产的创新应用是直接将燃气轮机产生的余热，用于干燥原料或与热燃烧空气(如果烟气含有足够的氧气)。康宁公司位于俄亥俄州 Greenville 市的特殊玻璃工厂进行能源审计后，发现可利用燃气轮机提供厂房用电，并利用燃气轮机的废气来预热玻璃配合料，及提供退火窑所需的热能。估计这项目一年可省下 20,000 MMBtu 的燃料与 6.7 兆瓦时的电力(U.S. DOE 2004)，相当一年节约 270,000 美元。项目的资金需求预估为 732,000 美元，回收期约为 2.7 年。

热电联产的另一个创新应用是气底循环 (Korobitsyn 2002)。但这技术目前尚未商业化，且没有任何玻璃工厂可证实底气循环是否确实可行，所以本节没有对这项措施的具体描述。

节能优点之外，利用热电联产供电上，效果也不比电力公司发电效果差。例如在规划运行的时程内，据报热电联产机组中有 95%至 98%的运行很顺利(Price and Ross 1989)。如果初始投资成本高，在各个的需用点安装数个小型热电联产机组，成本效益会高些。将一个独立电厂用于生产蒸汽与发电的传统锅炉，换成含有标准燃气轮机的热电联产机组，一般预估可节能 20%至 30%。如果汰换的锅炉更为老旧或没有定期接受维护，节能量将更大。

## 5.7. 准备配合料

生产玻璃均从原料称重与机械混料开始，产生的配合料将被送至熔窑。生产玻璃可使用多种化学成分，不同的配方会影响玻璃成品的机械、电学、化学与热属性。玻璃配合料包含成型剂、助熔剂、稳定剂与着色剂。

有些原料会在工厂内经过粉碎。由于粉碎本身是个能效很低的工艺流程，所以原料要磨得很细，会耗用很多能源，能源多半以热的形态流失。

混合原料的效率是否高，对玻璃制品质量的高低，影响相当大。如果配合料没经过适当地混合，混料不均匀会延长熔制时间，影响玻璃质量。事实上，熔化时间的长短主要取决于配合料在熔窑内均匀熔化所需的时间。为求混料均匀，在确保粉碎颗粒的大小适中、经过仔细称量并充分混合上，尤其要小心。大型工厂由于采用计算机控制称重设备，材料称重通常是在输送带上进行，之后直接送入固体搅拌机。小型工厂多半使用人工混料，这方法能效最低。

配合料制备时使用的斗式提升机、气力输送机、间歇式拌和机，以及材料结块时，均要用电。在这工艺流程中，间歇式拌和机最为耗电。通常，配合料制备消耗的电力占玻璃厂总电力需求的 4% (U.S. DOE 2002a)。

**粉碎。**大多数的粉碎技术都会使用转动设备。针对不同粉碎设备的设计的研究发现，低速转动与高进料速度可以提高能效 (Wang et al. 2004)，却不会降低生产量。

**粉碎 - 新技术。**粉碎过程会造成大量能源耗损，大多数能损是热能的形态流失。将高效粉碎技术结合高效分类技术，可以较低的能耗成本，制造出均匀、可重复的粒径。市场定期会推出新的粉碎技术。MaxxMill®是由 Eirich 公司开创的介质搅动、粉碎技术，该公司声称这项新技术的单位能耗较低。目前没有任何案例研究可以佐证，玻璃行业使用这项新技术可产生多少节能量。

**混料。**混合配合料的方法很多，如转锅式拌和机、带式搅拌机、绕转螺旋混合机、犁刀混合机与环槽混频器等。所以，对混料工艺流程的控制进行优化，对控制配合料的质量很要紧。混料技术可细分为非强化搅拌器与强化搅拌器。非强化搅拌器彼此间的能耗差异很大。绕转螺旋混合机与带式搅拌机的单位能耗为 10 千瓦/吨，而环槽混频器与转锅式拌和机的单位能耗通常为 20 千瓦/吨。强化搅拌器的能耗为 50 千瓦/吨或更高 (Rikken 2004)。根据荷兰飞利浦公司的测试结果，在最短的搅拌时间内，转锅式拌和机出现成分变化的情形最少(Rikken 2004)。混料过程中另外需用的电力，可透过使用高效熔窑与生产高质量玻璃带来的节能，互为抵消。

**助熔剂。**添加助熔剂是为了降低配合料的熔化温度。纯碱与甲碱是常用的助熔剂。过去 5 年至 10 年间，使用锂化合物作为助熔剂的情形愈来愈多 (U.S. DOE 2002a)。使用过锂化合物的玻璃制造商在其报告中表示，在熔化能耗与碎玻璃进料量均相同的条件下，熔制的温度较低、成型性能较佳、熔窑处理熔量加大。根据近期的估算，在玻璃配合料中添加锂，熔窑的能耗需求可减少 5%至 10%，同时氮氧化物的排放量也减少 (Grahl 2002)。

**降低配合料的潮湿度。**配合料可添加少量的水(占配合料重量的 2%至 4%)，避免运送过程中出现分离现象，同时减少粉尘量并确保配合料的均匀度。减少粉尘量可延长熔窑与蓄热器的使用寿命(U.S. DOE 2002a)。有时将配合料聚结为颗粒或砖，也是确保均匀度与减少粉尘的方法。由于玻璃液槽水分在熔窑内蒸发时会增加能耗，所以应将配合料的湿度降至最低。取决于碎玻璃占配合料的比重，配合料的含水量每降低 1%，熔窑的燃料用量可减少 0.5% (Beerkens et al. 2004; Lindig 2004)。

**选择性配料。**碱与碱土碳酸盐间的差异反应会使配合料出现分层反应。如掺著的粒径较大，会缩短反应与熔化的时间(Carty et al. 2004)。选择性配料可通过降低碱与碱土碳酸盐的化学反应，来优化熔化能效，进而缩短熔化所需时间。初期实验结果显示，熔化时间可缩短 50%，节能效果达 20%至 33% (Carty et al. 2004)。目前的发展则着重以喷雾干燥法预先混合不同的原料，并优先用于(纺织)玻璃纤维的生产。进行喷雾干燥前，要先将原料粉碎得极细，这在生产玻璃纤维时就要做。目前这项技术正在进行大规模的细部测试，仍未商业化。

**输送带。**输送配合料的方式有很多，包括气力、螺旋输送或带式输送。能效最高的输送法是带式输送机。设计时要考虑布局，以缩短运送距离达到节电效果。对运送配合料的带式输送系统进行规划，不仅能降低维护成本(因为耗损要比气力输送系统来得少)，还能减少削片机产生的大气排放量。提高输送带系统能效的方法有：改变电机尺寸、使用高效电机、使用可调速驱动器(见第 5.3 节)、使用高效带与采用新的输送带设计。

**改变电机尺寸。**使用尺寸不合的电机与泵会导致不必要的能源耗损。输送系统的电机尺寸经常过大。如果电机仅使用 25%至 50%的负载容量，能损可能高达 4%至 8%。如能降低峰值负载，就可改用尺寸较小的电机。请注意，电机可在超过负载量 15%的情况下运行短暂时间。所以，只有少数情况下才会使用峰值负载，小型电机的性能应该会一样好。汰换电机时，应该要考虑使用小型电机，如此可立即节能并省钱。另一方法是采用可调速驱动器，来降低大型电机系统的用能。

**高效电机。** 高效电机式是以更好的设计、更好的材料、更小的公差与更好的制造技巧，来降低能损。更多有关高效电机的讨论，请见第 5.3 节。

**可调速驱动器/变速驱动器。**可调速驱动器可将电机运行时的负载需求与速度做更好的搭配。输送原料所需的电力是由原料的流速而定。使用可调速驱动器调降输送带速度，进而减少原料的运量，相较于部份负载而言，可降低能耗。因此，输送带使用可调速

驱动气来节能是可行的，但节能量比起泵系统与风机系统使用可调速驱动器产生的节能量，要少得多(Nadel et al. 2002)。安装可调速驱动器可提高整体的生产量、提高控制与产品质量、降低设备的耗损，进而降低未来的维护成本。

输送带系统安装可调速驱动器通常可节能 8%至 15% (De Almeida et al. 2002)。不过节能的成本效益会因用途的不同而出现差异。

**MagnaDrive** 系统是适用于输送系统的一种特殊系统，透过电机与系统间的磁耦合，可产生不同的速度 (MagnaDrive 2005)。MagnaDrive 系统可以让马力介于 20 至 1000 的电机，且具有过载保护、故障保护、最小震动幅度与最低维护特性的电机，以定速运转。MagnaDrive 系统在系统超载时会自动停止，减少电机或其它系统零件损坏的机会。目前这套系统多运用在大型的输送系统，MagnaDrive 可调速驱动器已用于不同材料的输送，如水泥厂的斗式提升机、煤矿厂的输送带与煤电厂。目前还没有玻璃工厂安装 MagnaDrive 可调速驱动器。

**高效传送带 (齿形带)**。在大多数的工厂，皮带是整体电机驱动系统中不固定，但很重要的部份。标准 V 型带容易伸缩、弯曲、压缩，导致能效降低 (CIPEC 2001b)。将标准 V 型带换成齿形带可节能和省钱，甚至只是改造都可达到这样的效果。齿形带运转温度更低、使用寿命更长、维护较简单、效率比标准 V 型带高约 2%(CIPEC 2001b)。升级至高扭矩齿形带的节能效果要比标准 V 型带高出 6%(CIPEC 2001b)。将 V 型带换成齿形带后，电机负载会下降 2%至 10%(Price and Ross 1989)。CIPEC (2001b)估计将标准 V 型带更换为高效齿形带的回收期约 6 个月到 3 年。针对美国玉米湿磨行业的案例研究显示，高效运送带的成本为 29,660 美元，每年可节约电费 17,250 美元(或 1%电力)，回收期约 1.7 年(IAC 2005)。IAC 数据库的另一个案例则估计，小型系统的成本为 1,046 美元，每年可节约 709 美元的电费(0.2%的用电量)，回收期同样也不到 2 年。

**输送带系统**。(瑞典) Sicon Roulunds 公司声称已开发出不会危害环境的封闭式带式输送机，这机器可运送大宗原物料，却不会夹带、溢出或产生粉尘。这系统的弹性大，可用于 90 度的拐角，免去使用多个输送带，却不会降低能效。相较于气力输送带、螺旋输送带与链式输送带，据说这套输送系统不用经常维护、能耗量也低，但与一般带式输送带差不多。玻璃行业目前有使用这套系统的公司包括 ACI (澳洲), Glava A/S (挪威), Glasuld A/S (丹麦), Gullfiber AB (瑞典), G+H Isover 与 Schott Glaswerke (德国)。

**分离与粉碎碎玻璃**。熔化时使用回收玻璃(碎玻璃)会降低制造玻璃的单位能耗(更多有关提高玻璃液槽碎玻璃用量的讨论，请见第 5.8 节)。很多公司为了要控制与确保玻璃

的质量，宁可使用自家工厂的碎玻璃，而不用消费者用过回收已受到污染或含有杂质的玻璃。要提高玻璃的回收率，要将碎玻璃从杂质(如金属、陶瓷或有机材料)中清理出来，并根据颜色进行分类。传统清理分离系统是相当耗费人力的。美国玻璃行业目前没有关于准备碎玻璃的用能数据。配合料制备的电耗估计为 200 千瓦时/吨，平板玻璃为 80 千瓦时/吨、瓶罐玻璃为 155 千瓦时/吨、玻璃纤维则高达 337 千瓦时/吨 (U.S. DOE 2002a)。

美国目前开发的新技术是以粉碎法来清理碎玻璃 (Führ et al. 1995)。先将碎玻璃依据三种颜色分类：透明、褐色与绿色。其他颜色则另外放置。粉碎时只粉碎碎玻璃，其他杂质则维持原状 (自磨)。这有助于将杂质从碎玻璃中分离出来，生产的碎玻璃不带杂质的比重高达 99%。这种名为 *GlassMax* 的粉碎技术是由位于加州 Livermore 市的 RemCo 公司开发成。使用这项技术可降低碎玻璃预处理的成本与用能成本。粉碎是这工艺流程能耗最高的，每吨玻璃粉的能耗为 5.0 至 5.6 千瓦时，取决于装机容量、运行、玻璃质量与玻璃的潮湿程度 (Führ et al. 1995)。运行成本每吨玻璃估计为 0.04 美元。目前文献并无这项技术的资本投资数据。截至 1995 年，美国有 10 家工厂使用 *GlassMax* 技术来准备碎玻璃，德国与瑞士则各有一家工厂使用 (Führ et al. 1995)。

碎玻璃的大小是否适中，对有些产品(如吹制玻璃)也相当重要。生产吹制玻璃这类特殊玻璃的 Royal Doulton Crystal 公司，认为碎玻璃的大小在 12 厘米至 20 厘米之间对吹制玻璃是最合适的，有助于均匀熔化及避免杂质的出现 (ETBPP 1997)。不过，厂内自产的碎玻璃通常只有 30%达到这标准，导致每年约有 560 吨的碎玻璃被当作废弃物丢掉。1997 年，Royal Doulton Crystal 公司投资购买碎玻璃粉碎系统，自家工厂碎玻璃回收率因而提高至 75%。由于碎玻璃不会被当作废弃物处置掉，且不用另外采购玻璃原料，二者所省下的费用，一年估计约 190,000 美元(1997)。这做法的回收期仅 3 周。

**准备碎玻璃。**玻璃制品的种类与颜色，以及碎玻璃的颜色，会限制碎玻璃的用途。所以，将碎玻璃依颜色分类对于优化碎玻璃的运用很重要。新技术让分类碎玻璃更为容易。不少公司如 MSS (美国)、Countec (美国)、Toyo (日本)与 Zippe (德国)，已在市面上推销可去除杂质的碎玻璃分离技术。通常使用这些分离机的客户是政府经营的回收中心或商业回收设施，而不是玻璃厂。

不过，配合料中出现有色玻璃，或碎玻璃颜色与玻璃制品不搭配的可能性仍存在。传统上，只要在玻璃熔液中添加脱色剂，就算绿色碎玻璃用量达配合料的 0.5%，仍可生产出透明玻璃。如果要生产褐色玻璃，绿色碎玻璃用量可达 30%。目前有多项技术，

尝试将用以生产透明玻璃的绿色碎玻璃用量提高至 3%，例如相分离法、还原熔炼、电化学、湿化学提纯与使用其他的染色系统 (Dalbey and Purser 1996; WRAP 2004)。不过，这些技术尚未商业化(WRAP 2004)，所以，除分离有色玻璃已有高能效及优化的方法之外，目前市面上还没有可以提高配合料中染色玻璃比重的技术。

## 5.8. 玻璃熔窑

玻璃生产工艺流程中，能耗最高的流程是熔化玻璃、澄清玻璃液与调节玻璃液的温度；因此花在优化玻璃熔窑这个首要设备上的心思也较多。本节首先将讨论现有熔窑可以采行的节能措施，接著讨论最新的熔窑设计与全氧燃烧技术。现有熔窑已接近使用年限或要玻璃厂打算建造新熔窑时，应该考虑使用这些新技术。本节重点首先放在燃烧熔窑，接着讨论电熔窑，最后讨论提高碎玻璃用量的几个方法与这些方法对能耗的影响(包含预热碎玻璃)。

建造新熔窑的目的在于让熔窑能处理特定成分的原料以及特定类型的玻璃，便于玻璃制品质量与能效的优化。所以，下面讨论新的熔化技术时，应从这个观点着手。本指南含有关于(新)熔窑技术的通则，以及多个实体工厂应用这些技术的情况。评价一项特定技术时，要经常留意考虑采用该技术的工厂生产了哪些玻璃制品及使用哪些原料。

调整工艺流程的其他环节(如准备配合料)也会影响玻璃熔窑的用能。第 5.7 节已就调整配合料的制备来节约用能，进行介绍，本节就不再重述。由于配合料停留在玻璃熔窑的时间，会严重影响玻璃生产的能源强度，所以应该要对熔窑制成率，进行优化。改善玻璃制品的退火与成型，也会影响制成率、降低废品率，进而降低玻璃熔窑与玻璃制品的能源强度(见第 5.10 节)。评估各项节能措施时，也应该要仔细考虑不同生产步骤间的相互作用。

### 5.8.1. 改变既有玻璃熔窑

**工艺流程控制系统。**据估计，全球 80%以上的熔窑使用手动温控或单环 PID 控制器 (Chmelar et al. 2000)。2002 年美国能源情报署针对美国玻璃行业进行的一项调查结果显示，不到 48%的玻璃工厂使用计算机来控制玻璃生产的工艺流程 (EIA 2005)。不过，美国多数的大型玻璃工厂可能都已安装计算机控制器，但小型玻璃熔窑可能就没有安装。不过，经过改善的新工艺流程控制系统与战略持续地推陈出新，要控制玻璃熔窑工艺流程的能效并不容易，大部分的工艺流程控制系统并不直接测量工艺流程参数，加上测量热传导的难度更高。已下将讨论玻璃行业已开发并采用的几个新系统。

工艺流程控制系统是否有效，取决于是否有正确开发战略控制(软件)，以及(传感器)是否有妥善采集工艺流程性能数据。本节重点将着重于战略控制，但传感器的开发，对进一步改善温度分布、材料成分与熔窑特性(及其他工艺流程步骤)等有关信息的正确性，相当重要。美国、欧洲与日本已进行多项新型传感器研发项目，再过一段时间，市面上或许可以买到新型传感器。研发重点在于使用光纤、超声波、声波控制与微波系统，来抵抗恶劣环境(如熔窑的氧化环境或化学工艺流程的化学元素)与经得住高温。

先进的控制系统不仅可以提高能效，同时也可提高生产力、产品质量与生产线的效率。每个开发阶段采用的先进控制与能源管理系统，可见于各工业行业。控制系统能缩短配合料的停留时间、缩短停工时间、降低维护成本、缩短工艺流程时间、提高资源利用效率与能源效率，以及改善排放量的控制。工艺流程控制系统的使用率正在快速提升，先进的工艺流程控制系统几乎可用于任何工业行业。不过，采用控制系统的潜力仍然相当大，且更多的先进控制系统陆续在市面上贩售。以工艺流程控制系统作为基础的模型，广泛用于石油加工，在玻璃行业的运用则刚起步 (Backx et al. 2000)。

控制系统原则上可细分为以数学“规则”为基础的系统，与神经网络/模糊逻辑为基础的系统。以数学规则为基础的系统，是在闲熟工艺流程后，用这些知识来设技规则与决策参数，以优化工艺流程的参数。以模糊逻辑为基础的系统，是通过模仿能效表现最佳的工厂与使用工艺流程给出的信息“从做中学”，以较“宽松”的编程环境来优化工艺流程。许多组织企业已开发了专家与模糊逻辑系统。美国能源部支持开发玻璃熔窑专用的控制系统(如熔化特殊玻璃以分离放射性材料的系统)。此外，欧盟也提供高温窑专家系统的研发经费，高温窑已在葡萄牙的 Santos Barosa 瓶罐工厂内测试过 (Carvalho et al. 1999)。

玻璃行业推广许多用于控制熔化工艺流程的控制系统。尽管所有的控制系统不管是直接(因改善温控与减少停留时间)或间接(如降低废品率或提高处里容量)都可节能，但节能不一定容易确定。表 12 为全球玻璃行业推广的几个系统的简介，这简介不尽完整。下面将就几家工厂的经验或使用的技术，进行讨论。2004 年 GMIC 报告对玻璃工艺流程控制技术的基础原则，有很棒的简介(GMIC 2004)。

表 12. 市面上可买到的玻璃熔化控制系统简介(不尽完整)

控制系统	开发厂商/供应商
Expert System II	捷克 Glass Service 公司
GlassMax	加拿大 Universal Dynamics 公司
MeltingExpert	荷兰/比利时 IPCOS 公司
SIGLAS- Expert	德国西门子公司

Glass Service 公司已开发了「第二代专家系统」(*Expert System II*，简称 ES II™)，这套系统可控制玻璃熔制、最后产品的处理、前炉与成型设备(Chmelar et al. 2000)。重点特色包括：可执行多重输入与多重输出(Mimo)、可将多个设定点与参数进行整合、可根据模型进行预测—将工艺流程以动态数值进行模拟、具有反馈控制功能与模糊逻辑控制器。持续对投入的热能进行最优化的分配，可以节约燃料用量。另外，用了这套系统，几乎不用人力，熔窑就能持续运行，这种稳定性也能减少瑕疵品出现机会、提高产量、提升产品质量、让玻璃熔窑顶炉与底炉的温度更加稳定(降低出现腐蚀的可能性)、延长使用寿命。熔窑在安装此系统后，可节能约 2%至 3%、提高产量 8%，且回收期不到 6 个月。这系统已应用在生产电视机，以及使用鼓风机与全氧燃烧玻璃窑生产玻璃纤维、浮法玻璃与特殊玻璃的工厂。

开发「熔制专家」(*MeltingExpert*)的 IPCOS 公司虽未对外声称该产品的节省多少用能，已表示用了该产品后，就无需使用电助熔来维持产量。因为电力不便宜，少了电助熔，可以节省不少电费。该公司同时声称该产品有助提高产量，因为待机时间缩短且温度的稳定性提高，这些都能带来额外的节能效果。工厂其他领域可使用其他的控制系统(如 Tubing Expert 与 Profile Expert)。

Consumers Glass 公司在该公司位于加拿大英属哥伦比亚省的 Lavington 城市的瓶罐玻璃厂安装了 GlassMax 控制系统，该系统不仅能控制熔窑，同时也能控制前炉。如此伊莱可缩短待机时间、提高产品质量、降低瑕疵品丢弃的数量(Cassidy 2000)。开发该系统的 Universal Dynamics 公司声称，年产量可因而提高 4%。回收期估计不到一年，所需资金为 150,000 美元(Universal Dynamics 2003)。

使用德国西门子公司开发的控制系统的工厂遍及全球。工艺流程控制系统的用户为全球各地的浮法玻璃厂(如位于德国 Mannheim 市的圣戈班公司)、瓶罐玻璃厂(如荷兰 Moerdijk 市的 Heye-Glas 公司)、空心玻璃厂(如德国 Augsburg 是的 OSRAM 公司)，以及(隔热用)玻璃纤维厂(波兰 Gliwice 市的 Isover 公司)。很多熔窑都采用西门子的技术。该系统不仅能控制熔窑，还能控制前炉，以及其他的生产环节。SIGLAS Lambda 系统

(由德国 STG Cottbus 行销)是用于控制回热炉的一氧化氮含量与能耗量。该系统能让一氧化氮的排放量保持在 500~800 mg/Nm<sup>3</sup> 之间,同时节约 2%至 8%的用能。

减少过多的空气/降低漏气量。很多熔窑在空气/燃料比不理想以及出现空气渗漏的情况下,依然持续运行(Backhausen 2000)。通常熔窑在运转时,会带有 5%至 10%过多空气(1%至 2%额外的氧气)。按照化学计量比的来运行,可以减少能量的损耗与一氧化氮的排放量。实际节能量要视额外空气的含量,一般为 10%(EC-JRC 2000)。要能符合化学计量燃烧的条件,要先对一氧化氮、氧与一氧化碳的含量进行在线评估。将多余空气的含量从 15%减至 5%,已证实可以减少 35%的一氧化氮排放量(Backhausen 2000)。

老旧熔窑可能有空气渗漏的现象,造成注入熔窑内的额外空气,出现漏气过多的现象。在熔窑结构或燃烧炉系统会出现渗漏地方,进行密封,以防止空气的流失,将可提高能效。英国里兹的一家瓶罐玻璃制造商 Lax & Shaw 公司,就基于这个原因将一台熔窑汰换掉。新熔窑具有多项特点,每个特点都能提高熔窑的热效率。熔窑因此节省了 12.2%的一次能源,以及 33%的用能成本(EEBPP 1998b)。在省下的 12.2%的用能中,有 30%因为对蓄热室格子砖堆砌做了改善、有 20%是对投料口做更完善的密封、有 11%是对熔窑顶炉就更完善的隔热处理、另有 10%是对熔窑其他部份做更好的隔热处理。这项节能投资的金额约为 320,000 美元(1998 年),总共省下了 517,000 美元的用能支出,回收期为 7 个月。不过根据一份研究,大型玻璃制造厂如不使用鼓风机与电助熔,则以美国 2004 年的天然气价格来计算,回收期将接近 1 年。

**预混合燃烧炉。**预混合燃烧炉可以解决空气渗漏过多的问题。预混合燃烧炉在玻璃业的运用行之有年,多运用在玻璃前炉、进料口、熔窑与退火炉。空气天然气分离的燃烧炉运行时的空气含量通常比标准要多出 10%,所以较不容易控制。改用预混合燃烧炉可以减少额外空气的用量,取决于减量的规模,节能量最高可达 11%(Anon. 2005)。生产预混合燃烧炉的厂家很多。

**助燃风机上的可调速驱动器。**在冷空气与堆叠鼓风机不停运行的同时,可用不同类型的入口叶片来控制空气的供应量。风机系统使用可调速驱动器,也可用于控制熔窑内的空气量。节能量(与回收期)要看风机系统的运行状态及熔炉的大小。

位于乔治亚州 Warner Robins 市的 Anchor Glass 玻璃厂完成能源审计后,发现在熔炉鼓风机上安装可调速驱动器上,一年可节约电力 800000 千瓦时,回收期为 1.7 年(OIT 2002)。

由于不同大小的熔炉需要的热能也不同(如小型、不作连续运行的熔炉)，安装可调速驱动器后，由于不再需要那么多额外的燃烧空气，从而可节省燃料的用量。

**余热锅炉。**从回热气排出的烟气温度介于华氏 600 度至 1100 度，可以用来回收蒸汽。回收余热的时机可以在清理烟气(及后续的清理工作)之前或后。成本效益不是固定的。通常浮法玻璃熔窑与换热炉才会有锅炉装置。在德国，所有的浮法玻璃熔窑都有安装可回收余热的锅炉。资本成本在 100 万美元以上。

蒸汽可用于发电(通过蒸汽涡轮)，或驱动鼓风机或压缩机，或用于预热及干燥碎玻璃。

**起泡器。**有了流体动力学模型，并对玻璃熔制工艺过程有更彻底的了解后，就可以改进器泡器的安装地点，进一步改善热交换的效率并让产品的质量更齐一(Clark-Monks 2001)。推陈出新的技术也能减少电极在玻璃均化混合与熔制过程中，因电极所在位置不同而带来的负面影响。

由于氧能够降低氮与其他惰性气体对玻璃配合料的影响，起泡器最好能够使用氧。氧起泡器可以提高热交换效率 10%至 15%(SenterNovem 2005b)。

位于荷兰 Roosendaal 市的飞利浦照明公司(荧光灯制造商)，将现有的回热窑改成全氧燃烧窑时，也将熔窑内价格偏高电助熔器，换成氧起泡器以(SenterNovem 2005b)。更换之后，节约近 400 万千瓦时，即每生产一吨玻璃，就节约 170 千瓦时。目前无法估测起泡器具体的投资回收期，因为它通常包含在采购全氧燃烧窑项目的总成本内。

**耐火材料/隔热处理。**基于成本考量，要更换现有熔窑的隔热材料，在设计熔窑之初，或者已接近使用寿命而打算重建熔窑时，就应该想到。有了隔热处理的熔窑，热损幅度可降低 55%至 65%(Lutskanov 1996)。熔窑隔热会出现的问题有：出现腐蚀的机会较高与硅砖拱出现“肮脏不洁的洞”。熔窑使用寿命期间，隔热材料会日渐磨损，导致热能流失。目前已有新的耐火材料，可应付玻璃槽内的恶劣环境、延长熔窑使用寿命，同时还能在使用期间，提供更完善的隔热保护。根据玻璃的成分开发更好的耐火材料，这方面的研发工作仍在进行。耐火材料一旦变质，估计每个月能量损失将提高 0.1~0.2%(GMIC 2004)。

将回热炉的耐热砖换成特殊造型的聚变材料，可以提高回热炉的热交换强度。节能量通常为 7%。截至目前，全球有 320 个熔窑安装了波形十字的聚变材料(EC-JRC 2000)。

Lubisol 工程公司开发了新的砖拱隔热材料，不仅能效较高，使用寿命也长(Lutskanov 2003)。该公司声称其产品使用高质量的硅耐火材料并确保接头没有脱，以免对熔窑会有不良的影响。根据开发人员的说法，硅砖拱流失的热能，约占玻璃熔窑热能损失总量的 5%。玻璃制造商将熔窑的硅砖拱升级为高效的硅砖拱后，可节约 1.0%至 1.5%的燃料成本，如果从未有过耐热处理，一旦安装了硅砖拱，节约的燃料成本将高达 4.5%(Lutskanov 2003)。美国纤维与特殊玻璃业将二座熔窑安装了硅砖拱，回收期不到 2 年(IAC 2005)。

瑞典的 Kanthal 公司以完整的模具，开发出的纤维隔热材料，已证实可节能、延长坩埚炉使用寿命、提高产品质量与弹性等效果(Frisk and Linder 2001)。

**燃烧炉位置要正确。**熔窑的燃烧炉承轴与玻璃表面间的角度要对。燃烧炉角度是否正确，影响的不仅是熔液的热传导效率，还有氮的生成与灰尘量。燃烧炉的角度应该要就熔液传热，进行优化。

**密闭式燃烧炉。**应将燃烧炉密封在炉砖内，以避免外部空气会穿过炉砖，进到熔窑内。外部空气占化学计量估算的空气总量，可能会高达 15%，但一般是在 3%至 5%左右(EEBPP 2001)。冷空气的含量要是能减少 15%，可节能 2%至 3%左右。其他好处包括：可降低氮的含量、延长炉砖的使用寿命、减少维护的次数。缺点可能是需要使用其他的制冷方法，来替代炉外的冷空气。英国 Knottingley 市的 Rockware Glass 公司在 1996 年、1998 年至 1999 年间，以 Laidlaw Drew 公司制造的燃烧炉密封环进行试验，试验期间，系统表现稳定，且能在燃气与燃油间，毫无问题、轻松地进行转换。可省下 1.75%的熔制成本与 1%的燃气量。总共节约了 6,440 美元(依 1998 年的美元币值计算)，回收期约 4 个月。目前很多玻璃厂商已采用密闭式燃烧炉，如英国里兹的 Lax & Shaw 公司、英国 Knottingley 市的 Greggs 公司、英国 Barnsley 及 Rotherham 市的 Beatson Clark 等。应用范围包括克劳斯裂化炉与火焰炉。

**低氮氧化物燃烧炉。**低氮氧化物燃烧炉是种特殊的回热器或预热式燃烧炉，可在燃烧前，对燃料成分进行调整，燃烧过程中，会出现烟尘但随后会烧掉。热转换效率提高并降低火焰温度，可提高熔窑的生产速度与热效率。

1987 年德国 Steinback 市的 Wiegand & Söhne GmbH & Co 公司的瓶罐玻璃厂使用了一个名为 Sorg LoNOx<sup>®</sup> Melter 的低氮氧化物燃烧炉(Ehrig et al. 1995)。该熔窑的燃料为天然气，但也可用重油。以 LoNOx Melter 燃烧炉来预热碎玻璃，所消耗的燃料为 3.1

MMBtu/吨(相当为 3234 千焦耳/公斤), 比回热式端焰炉要节能 14.4%(Pieper et al. 1995), 所排放的氮氧化物, 也比回热式端焰炉的排放量少了约 45%。

由 Air Products 公司生产的 Cleanfire™ 低氮氧化物燃烧炉, 将数个全氧燃烧炉结合为一体, 并移除了氮氧化物, 完成的节能与减氮效果更大(Brown 1995)。烟气减量超过 80%。Cleanfire™的燃料用量要比回热式熔窑少 20%。再者, 产品带有石头、种子等杂质的情况也比较少。

法国 Air Liquide 公司开发了一台全氧燃烧炉, 火焰中的氮氧化物含量很低(Legiret et al. 1997)。根据制造商的说法, ALGLASS FC™燃油全氧燃烧炉产生的火焰中, 氮氧化物含量低、火焰不会接触到炉砖, 所以不会形成热点, 可从而降低火焰的温度。Air Liquide 公司声称这台燃烧炉比传统全氧燃烧炉, 能节约 5%的用能(GMIC 2000)。产生的氮氧化物为传统优化过的燃烧炉的五分之一。由于设计简单, 该燃烧炉几乎无需维护。加上火焰强度低, 碱挥发的情况也比传统的燃烧炉要少, 从而减缓耐火材料耗损的速度、延长熔窑的使用寿命并减少微粒的排放量。全球使用 ALGLASS FC™燃烧炉已超过 100 台。BOC Gases 公司也开发了平焰烧嘴, 可用于熔化有色金属的熔窑, 并打算安装在玻璃熔化炉上(AlChalabi et al. 1995)。Praxair 公司开发的 WideFlame™ 燃烧炉帮一家制造商节约了 6.1%的用能, 并减少 50%的氮氧化物排放量(GMIC 2000)。截至 2000 年, 已安装了 5 台 WideFlame™燃烧炉。

德国 Gottbus 市的 Software & Technology Glass GmbH (STG) 公司的 Energy Saving DeNOx (EsDeNOx) Technology 部门开发了一种方法, 通过对空气消耗量与火焰紊流的控制, 来降低氮氧化物的形成与能耗量(Birle 2005)。投资这套系统的回收期不到 1 年。氮氧化物的减排量可高达 86%, 一般为 40%。燃气炉的节能量可高达 5%, 燃油炉的节能量介于 2%至 7% (Birle 2005)。

**预热式燃烧炉(主要用于玻璃纤维的生产)**。预热式燃烧炉采用“同流换热器”或热交换器将流入的燃烧空气与流出的余热, 进行加热。预热式燃烧炉主要用于玻璃纤维的生产, 通常能效比回热式燃烧炉要差, 但由于不会出现温度起伏的情形, 所以温度能保持一致 (请见回热式燃烧炉)(GTI 2002)。

英国能效最佳实践方案预测, 相较于冷空气熔窑, 这种燃烧炉的节能幅度可高达 30%, 且以天然气的成本 4.3 美元/MMBtu 计算, 回收期介于 7 至 14 个月 (EEBPP 1998a)。

**垂直供热的均热炉。**不同于水平供热，这类均热炉会将火焰直接导向配合料的表面，在耐热温度不超过正常运行温度上限的情况下，这些均热炉可以供应的单位面积能量将更高。因此，以特定大小的熔炉来说，这类熔炉可熔化更多的玻璃与更高质量的玻璃。1996 年时 BOC 与 Owens Corning 公司在不停产的情况下，将一台全氧燃烧炉进行改装(LeBlanc et al. 2002)，在 4 个月的运行测试期间，该机器的产能明显要比传统的机器高出逾 50%，氮氧化物的排放量却没有增加，玻璃的化学属性未受影响，玻璃出现瑕疵的情况也减少了。造成这些结果的主因是供氧量提高，而不仅是使用垂直供热的均热炉的成果。不同地方进行的测试，呈现的结果很近似。

### 5.8.2. 熔窑设计

**端焰炉。**端焰炉的热效率要比横焰炉高出约 10%，但每天的产能上限为 150 吨(EC-JRC 2000)。端焰炉的投资成本要比横焰炉少 20%(Pieper 1994)。位于克罗埃西亚的 Vetropack Straza 玻璃公司，将一台横焰炉更换为最新的端焰炉后，每天生产的钠钙硅玻璃为 150 吨，熔融面积为 60 平方米(Stieglitz 2000)。与其将现有的老旧熔窑进行全面维修，该公司决定添购一台新的端焰炉，预估回收期为 1 年，这样做不仅可以节能，同时能提高整个工厂的玻璃液槽的负荷量。端焰炉的节能幅度为 25%至 30%，单位能耗平均为 4000 焦耳/公斤玻璃。再者，由于不需要那么多的通风设备，耗电量也降低，同时氮氧化物的排放量也随之降低。

英国里兹的 Lax & Shaw 公司生产主要用于装酒的白火石玻璃瓶。1996 年时，该公司将原有的熔窑换成端焰炉，该炉含有数个高效回热炉、一个密闭的投料口、顶炉的隔热效果更佳、炉体经过升级、烟道与回热炉做了隔热处理、低氮氧化物燃烧炉做好密封处理、玻璃池窑深度加深(CADDET 2000)。该公司发现端焰炉的能耗较低，产能却更高。因为不需要电助熔与全氧助熔，运行成本也降低。用能成本相当于每吨 6.6 美元(1997 年的美元币值)，相较下，能耗量减少 12.2%，用能成本减少 33%。能效改造成本约为 305,000 美元(1997 年的美元币值)，回收期约七个月。没有使用电助熔与全氧助熔的工厂，回收期有可能为 16 个月。

**回热炉。**回热炉的炉本身要运转两次。一个炉有两室，每室带有耐热材料，称作热像仪(checker)。燃气会通过热像仪，余气则由另一室排出，热像仪在此处会进行加热，供后续的燃气通过之用。每隔 20 分钟，气流方向就会反转一次，这样热像仪才能对新的燃烧空气，进行加热。有 90%的玻璃都是在回热炉里进行熔化，在美国，42%的熔窑属于回热炉(U.S. DOE 2002a)。回热炉有两类：横焰炉与端焰炉。尽管端焰炉一般来说，能效较高，横焰炉却较为常见(Beerkens et al. 2004)。

多管道回热炉在回收烟气方面，能效较高，能够降低能源强度 15%。使用这种炉只有在盖新的熔窑时才有可能，因为此时需要的热交换器规模也更大(即需要更多的耐热砖)(EC-JRC 2000)。

对回热炉进行改造可降低一次空气与二次空气之比。一份试点研究发现，将新的回热炉以一比一的比例注入一次空气与二次空气，而舍弃过去的 85:15 比例，可减少 30% 的氮氧化物排放量(Flamme et al. 2001)。

**增加回热炉的体积。**熔窑一旦达到使用寿命年限要重建时，不妨考虑扩增回热器的体积，以提高热回收效率。大型回热炉可提高烟气的回收量，并将烟气以较低的温度排至大气中。随着燃料价格的升高，大型回热器带来的成本效益，可能会比过去所做的研究结果来得高些。

**SORG<sup>®</sup> Flex Melter (换掉小型的坩埚窑)。**这种熔窑适用于高质量玻璃，并采用间歇运行，虽然要用于连续运行也行。根据 SORG<sup>®</sup>公司，这种熔窑的能效要比大小接近的熔窑来得高(SORG 2002)。

### 5.8.3. 全氧燃烧熔窑

**合成空气。**合成空气是将燃烧需用的氧与回热器排出再回收的余气，先进行混合，再以一般做法进行加热而成(Mattocks 1998)。相较于缺乏热回收系统的全氧燃烧熔窑，使用合成空气的能效会比较高。合成空气与供气系统内的空气相近，所以可使用同样的燃烧炉与喷口设计，如此在进行改造时较为容易，节能量要比传统的燃气燃烧炉系统要高出 15%。合成空气系统在控制燃烧上的效果也比较好，不过耐热材料的磨损速度会快些。

**富氧燃烧空气分段(OEAS)技术。**降低火焰高温区内的含氧量以及提高火焰温度的均匀性，可从而降低氮氧化物的排放量，并增加传送至玻璃的热量。这技术旨在让氮氧化物排放量减幅 40%至 70%。节能效果为次要，但因为氮氧化物排放量的减少，处理烟气所需的用能也会减少。美国有十家工厂已成功使用富氧燃烧空气分段技术，其中七家工厂用于端焰炉，另外三家用于横焰炉。

**全氧燃烧玻璃窑。**几乎玻璃行业的各个环节，都已成功使用全氧燃烧技术。全球超过 150 家大型的玻璃熔制厂已采用全氧燃烧技术(Damsell et al. 1996)，在美国，则有接近

30%的玻璃熔窑采用全氧燃烧技术(U.S. DOE 2002a)。平板玻璃业改用全氧燃烧玻璃窑的比重最低，这是由于这技术需要用到更多的氧，从而会增加营运成本。特殊玻璃业使用全氧燃烧玻璃窑的比重最高(GMIC 1999)。

改用全氧燃烧玻璃窑可实现的节能量，要看换用前所用熔窑的能耗量、是否使用电助熔、是否有空气漏损现象、制造的玻璃种类与碎玻璃的使用情况。节能量通常介于 20%至 45%之间(45%是将能效不佳的熔窑淘汰掉的结果)(Sauer and Lauwers 1994)。就算是大型高能效的回热炉，节能量都可达 5%至 20% (Sauer and Lauwers 1994; EC-JRC 2000)。

节能量的大小也要看制造氧需用的能量。虽然低温系统的能效最高(能耗量为 0.84-1.36 MMBtu/吨)，但多用在大型工厂。规模较小的工厂，多使用真空变压吸附(VSA)技术(每日产量 20 吨至 90 吨) 或变压吸附(PSA)技术(每日产量不到 20 吨)。真空变压吸附技术的能耗量估计为 2.08 百万英热单位/吨；变压吸附技术的能耗量估计为 2.6 MMBtu/吨 (Rue et al. 2006)。

相较于传统的气燃系统，全氧燃烧玻璃窑可降低氮氧化物的排放量达 70%至 90%，同时减少 25%至 80%的微粒排放量(Lauwers and Stohberg 1994; GTI 2002)。整体而言，废气排放量的减幅约为 80%；不过，废气浓度却增加了(Damsell et al. 1996)。全氧燃烧玻璃窑的微粒排放量通常较低，目前已证实的减幅介于 20%至 70%(Sauer and Lauwers 1994)。

全氧燃烧技术的优点还能减少噪音的产生、缩短熔制时间，且因为产品质量较为稳定，玻璃质量也因而较高 (Ebeling and Bobbit 2000)。多份业界的报导声称，改采用这项技术后，产量平均提高了 15%至 20%，这对生产面积有限的工厂尤其重要(Anon. 1998b)。这项技术的缺点包括耐火材料耗损速度增快、熔窑使用寿命缩短(或耐火材料的支出增加)、氧气生产需要成本，以及将回热炉换成全氧燃烧炉的过程中可能会出现的问题 (Argent and Dickinson 1995)。耐火材料耗损过快可能会影响产品质量，荷兰飞利浦照明公司就出现这种问题，耗损速度加快连带加快炉顶含硅部份的腐蚀速度 (SenterNovem 2005b)。

一台新式全氧燃烧玻璃窑的投资成本要比预热式熔窑少 20%，比回热炉少 30%至 40%。就地自行生产氧的成本为工厂资本成本的 10%。全氧燃烧玻璃窑在处理烟气的成本上也较少 (EC-JRC 2000)，维护成本更低 (Damsell et al. 1996)。整体而言，成本效益差别很

大，相当程度要看各地工厂的实际情况：如现有系统的能效、排放氮氧化物带来的成本、燃料与电力成本等。采用本技术的最佳时机是在熔窑过了使用寿命，需要重建时。

全氧燃烧玻璃窑用在日产量 90 吨以上的熔窑上，是最为有效的 (GTI 2002)。该技术目前尚未大量应用于瓶罐玻璃的生产，但在玻璃纤维的生产上，采用的厂家比较多。2000 年时，位于俄亥俄州的 Pilkington LIF 公司拥有全球唯一一家使用全氧燃烧玻璃窑来生产浮法玻璃的工厂。1996 年，德国第一家以全氧燃烧玻璃炉来熔制生产火石玻璃罐的工厂，是 Heye Glas 公司位于 Obernkirchen 的工厂 (Portner 1999)。能耗量平均为 3.35 兆焦/公斤(3.1-3.2 MMBtu/吨)，熔制成本要比仍在运行的任何一座传统熔窑来得低。

位于德国杜塞道夫的 Glashütte Gerresheim GmbH 公司专门生产瓶罐玻璃。1997 年时，该公司将预热式横焰炉，更换为可预热配合料与碎玻璃的全氧燃烧玻璃窑(Lubitz 1999)。含有预热器的全氧燃烧玻璃窑，其单位能耗为 3.02 兆焦/公斤玻璃(约当 2.9 百万英热单位/吨)。在计入生产氧所需的能量，全氧燃烧玻璃窑的燃料消耗量，要比传统熔窑的能耗量(5028 千焦耳/公斤，或 4.8 MMBtu/吨)，少了 35%。氮氧化物的排放量也大幅减至 180 毫克/立方米。花更少的钱与用更少的功能，玻璃的可塑性变得更好，玻璃质量也提高许多。

位于德国 Mainz 市的 Schott 工厂，将回热炉改装为全氧燃烧玻璃窑后，发现节能量的多寡，与玻璃液槽的负荷量有极大的关联，在一定负荷(1.65t/ m<sup>2</sup>-d)以上，节能幅度可高达 35%。平均节能幅度估计为 20%(Anon. 1997)。此外，温度的稳定性有显著的改善、氮氧化物的排放量也减少了。刚开始曾出现堵塞的问题，但在将稀释过的空气注入直立式区间，用于降低水平区间的温度后，就没有这方面的问题。因为新式全氧燃烧玻璃窑并不需要空气预热器，所以新熔窑可安装在原有旧熔窑设置的地点，同时增加 25% 的产能 (Anon. 1997)。

一家生产电视玻璃的工厂，将燃气窑换成全窑燃烧玻璃窑后，节约了 40%的燃料用量 (Damsell et al. 1996)。员工发现运行成本降低了，微粒与氮氧化物的排放量也减少一半以上。另一项试点研究发现，采用全氧燃烧玻璃窑后，氮氧化物的排放量比旧式的回热炉(一次空气与二次空气的比率为 85:15)(Flamme et al. 2001)。

位于西维吉尼亚州的 Fenton Art Glass 公司，为美国手工着色玻璃的最大制造商，最近在工厂内安装了一台以远端操控的氧生产系统，用于供应厂内全氧燃烧玻璃窑所需的氧 (Ebeling and Bobbit 2000)。该工厂从 1976 年起就开始使用全氧燃烧玻璃窑，但最近才与位于俄亥俄州克里夫兰市的 AGA Gas 公司签约合作，采用就地生产氧气来供应自

家所需的氧。该系统采用真空变压吸附技术，每日可生产 26 吨的氧(Ebeling and Bobbit 2000; Joshi et al. 1996)。该系统的安装费用为 200,000 美元，回收期只有 1 年。节能之外，该公司发现由测试的玻璃液槽排放的微粒，由每小时 11 磅，减至 0.53 磅，减幅为 79%。噪音也少了、熔制时间缩短、工艺流程的控制便得更好、产品质量较为稳定。Praxair 公司也采用真空变压吸附技术，开发了一部全氧燃烧系统。该公司 1992 年与康宁公司及 Gallo Glass 公司合作，在 Gallo Glass 公司位于加州 Modesto 市的工厂，成功地展示了该项技术。氮氧化物排放量减少了 85%、微粒排放量减少 25%、节能幅度为 25%(OIT 1999a)。此后，Gallo Glass 将所有的熔炉全部换成全氧燃烧玻璃窑。美国其他工厂也采用了这项技术(Joshi et al. 1996; Schatz 1996)。

具有回收热能功能，并据以对注入的氧进行预热的全氧燃烧预热炉，已完成开发(Browning and Nabors 1997)。测试结果显示：以华氏 2200 度对氧进行预热，节能量要比传统的全氧燃烧窑要高出 15%。另外，氮氧化物的排放量也减少许多。

**全氧燃烧玻璃窑的热回收功能。**很多全氧燃烧玻璃窑并未将烟气所含的热能加以回收。如果不回收热，全氧燃烧窑的能效将不如端焰炉高(Beerkens et al. 2004)，因为生产氧需要能量。不过，由全氧燃烧炉排出的烟气，在排放至大气前要先降温。生产高压蒸汽或预热碎玻璃时就可回收热能。

位于荷兰 Moerdijk 市的瓶罐玻璃公司 Heye Glas，在日产能 300 吨的全氧燃烧窑上安装了一套系统，可回收烟气的热能来生产高压蒸汽。热能首先用于生产高压蒸汽，之后将蒸汽用于两个汽轮机以驱动鼓风机，制造工厂所需的空气。由背压式汽轮机抽吸到的低压蒸汽，就用来预热及干燥碎玻璃，该系统于 2000 年完工。根据该系统的表现，有人提议要对系统进行调整、优化，方法包括使用多级汽轮机并将碎玻璃的预热温度从华氏 194 度提高至 230 度(SenterNovem 2005a)。以天然气价格每 MMBtu 为 4.1 美元计算，系统优化的简单回收期为 3.5 年(SenterNovem 2005a)，原有系统的回收期为 6.2 年。

德国 Horn Glasanlagen 公司设计了一款新的熔窑，将全氧燃烧窑与预热式燃烧炉合为一体，即俗称的 Combined Oxyfired System® (CO System®)。该公司声称运行成本降低了(因为氧气的需求量减少)，同时由于蒸汽所含湿气较少，炉顶出现腐蚀的情况变少了。该熔窑了用能设计与全氧燃烧窑的设计近似。

**全氧燃烧炉—高亮度燃烧炉。**目前常见的全氧燃烧窑，火焰亮度相对偏低，但因为火焰温度高，一但出现漏气情形，氮氧化物的排放量会增加。气技术学院(Gas

Technology Institute)与 Eclipse Combustion 公司, 已与 Owens Corning 公司(玻璃纤维工厂, 2002 年)及 PPG 公司(浮法玻璃工厂, 2003 年)合作, 对一款新的高亮度燃烧炉进行测试 (Wishnick et al. 2003)。这燃烧炉会“预先燃烧”部份的燃料, 以产生烟尘, 第二阶段再燃烧这些烟尘, 就能产生高亮度的火焰。火焰温度偏低, 可减少氮氧化物的排放量, 从而延长燃烧窑的使用寿命(Smirnov and Allen 2005), 并提高 4%的热效率。该测试于 2004 年结束, 该款燃烧炉估计很快就能在市场上购得。

**全氧燃烧玻璃窑- 高顶炉窑技术。**一些全氧燃烧窑一旦出现硅腐蚀现象, 使用寿命就会缩短, 产品质量也会受到影响。Praxair 与 Heye Glass 公司已开发了一款俗称“高顶炉窑”, 这款炉将 Praxair JL 燃烧炉融入新型熔窑的设计中, 并证实出现硅腐蚀的情形不是没有就是极少, 即便熔窑已过了 9 年的使用寿命 (Kobayashi et al. 2005)。熔窑的使用寿命估计为 10 年或 11 年。另有二座熔窑已分别达到 7 年与 5 年的使用寿命。新型熔窑的能源强度与传统的全氧燃烧窑近似。使用“高顶炉窑”制造火石玻璃(含 60%的碎玻璃), 其能源强度为 3.3 MMBtu/吨。

#### 5.8.4. 碎玻璃的使用及预热

提高碎玻璃与过滤灰尘的用量。碎玻璃与过滤灰尘可应用在玻璃业的各个部门。瓶罐玻璃全部均能回收(GPI 2002)。生产瓶罐玻璃时的碎玻璃用量可占全部配合料的 10%至 90%以上。目前美国厂商生产瓶罐玻璃时, 碎玻璃的用量会占全部配合料的 30%(Ruth and Dell'Anno 1997), 欧盟厂商生产瓶罐玻璃时, 碎玻璃的用量平均占 60%, 比利时为 95%, 德国为 90%, 英国为 34%, 希腊为 27%(Glass Gazette 2003)。美国使用碎玻璃的比重之所以偏低, 瓶罐玻璃的回收率仅有 37.4%, 是其中一个原因(GPI 1996)。美国环保署有多份报告显示, 在 2003 年, 从各城市固体废弃物回收的瓶罐玻璃, 比重只有 22%(U.S. EPA 2004), 相较于其他国家, 这数字显然偏低。欧洲回收瓶罐玻璃的比重为 60%左右(2003 年), 回收率最高为瑞士, 达 96%, 瑞典为 92%, 德国为 88%, 土耳其的回收率最低, 只有 22%。

由于回收而来的玻璃, 会有玻璃颜色不一致、夹带污染物与杂质方面的问题, 对制造商造成困扰。在欧洲, 瓶罐玻璃厂在生产绿色玻璃罐时, 全部材料是采用碎玻璃, 生产褐色瓶罐玻璃时, 有 80%的材料为碎玻璃, 生产透明瓶罐时, 则 70%的材料为碎玻璃(Beutinger 1995)。生产平板玻璃时, 绿色平板玻璃的碎玻璃含量会高达 20%至 40%, 而透明平板玻璃的碎玻璃含量会较低(Fleischmann 1997)。目前是以设置选矿及中间处理设备来处理这问题, 但现阶段这些技术依然相当昂贵, 且维持这些设施的运行的前提是, 碎玻璃的进货价格要稳定(Ruth and Dell'Anno 1997)。使用回收而来的碎玻璃时,

必须要避开受到管制的原料，如氧化铅。要克服这些与其他质量方面的问题，可通过改善的数据、化学分析与工艺控制系统。

应该要减少碎玻璃受到污染的程度。陶瓷体积一旦大于一公分(0.4 英寸)就不容易熔化，且金属的部份可能会破坏玻璃槽底部的耐火材料(Gebhardt 1997)。有机材料最好少用，因为会影响起泡、混合及染色的效果(Beutinger 1995; Enneking 1994)。相反地，大块碎玻璃有助于熔窑进行混料。先进的分离技术则有助于维持高质量的碎玻璃。

如果取得高质量的碎玻璃不成问题的话，节能量将相当可观，因为熔化碎玻璃时不会发生化学变化，可减少能耗量。但减少的用能量，有部份会被磨碎、清理、分类与运送碎玻璃时所需的额外用能，而抵消掉(Anon. 1984)。碎玻璃的含量每增加 10%(以重量为准)，能耗量可减少 2%至 3.5%(Beerkens et al. 2004)。1993 年一份针对位于欧洲境内德语系国家的熔窑所作的调查结果证明，碎玻璃的含量每增加 10%，可减少 3.3%的能耗量(Fleischman 1997)，相当碎玻璃含量每增加 1%，每吨玻璃可省下 7600 BTU 的能耗量。

此外，原料用量减少，投入生产原料的能耗量也会减少，熔窑的寿命也会因为熔化温度较低及配合料腐蚀性较低而延长(Ruth and Dell'Anno 1997; GPI 2002)。Owens Corning 公司的报告显示，碎玻璃含量占 30%，会比完全不含碎玻璃的原料，要少用 60%的硅石、40%的碳酸钠，并节约 10%的能源成本(Papke 1993)。

Pilkington 公司位于英国 St. Helens 市的浮法玻璃工厂，安装新的原料堆存处、输送筒仓及控制系统，以提高该厂玻璃废料的使用率。这些措施每年为该工厂省下 40,300 英镑的原料成本及 13,000 英镑的废物处理成本(ETBPP 1999)。整体投资成本为 140,000 英镑，回收期为 32 个月。

提高废玻璃的含量同时也能减少温室气体排放量。燃料用量减少，氮氧化物的排放量自然会减少，同时由于硫酸钠用量减少，二氧化硫的排放量也因而减少(Enneking 1994)。

**预热配合料及碎玻璃。**碎玻璃预热器是使用熔窑的余热来加热投入的碎玻璃配合料。很多公司有销售碎玻璃预热器，包括直接或间接式预热器。直接式预热器中的碎玻璃会直接接触烟气并受热至 400°C 左右。万一预热器无法使用，有一个旁道可用。间接式预热器是一种交叉流动的板式热交换器。碎玻璃通过热交换器，温度可达约 300°C。Edmeston 公司开发了一套新系统，这套系统整合了静电集尘器与直接式预热器，将熔窑的碎玻璃及灰尘预热至 400°C。

预热配合料要比预热碎玻璃更为困难，因为投入的原料结块会影响产品质量及熔炉的效率。

碎玻璃预热器产生的节能量估计介于 12%至 20%间(EC-JRC 2000)，全看碎玻璃的含量及预热的温度。McGrath (1996)发现碎玻璃至少要有 35%经过预热，节能量才会显著。Enninga 等人(1992)在其报告中提及，有台已安装启用的预热器，使用的碎玻璃成分占 55%，能效因而提高 20%。然而有其他的报告显示，碎玻璃成分至少占 50%且预热至摄氏 500°C(华氏 930°F)，节能量却仅有 8%至 12%(Fleischmann 1997)。理论上，所有系统使用的配合料有一半以上的成分为碎玻璃时，就可安装预热器。用于处理配合料的预热器，不算是成熟的技术(EC-JRC 2000)。

安装预热器可减少氮氧化物的排放量，直触型预热器可同时可以减少二氧化硫、氟化氢(HF)、氯化氢(HCl)的排放量。安装了预热器后，可提高熔窑处理能力 10%至 15%，且无损熔窑的使用寿命。

目前只有瓶罐玻璃熔窑可看得到碎玻璃预热器，大部份在欧洲(截至 2000 年有 6 台有安装)，少部份在美国。位于美国新泽西州的 Leone Industries 公司，在全氧燃烧熔窑上安装了附有 Edmeston EGB 过滤器的碎玻璃预热器。德国 Interprojekt 自 1980 年代后期，就在系统安装预热器(Anon. 1999)。荷兰的 PLM Glas Industrie Dongen BV 公司(现更名为 Remax)，专门生产包装用玻璃，在工厂内安装了预热碎玻璃/配合料的热交换器(NOVEM 1993)。碎玻璃在预热器内预热至华氏 530°F，如此一年可少用 60%的电助熔(或 90 千瓦时/吨)及 8%的天然气(或 0.3 MMBtu/吨)。改造成本约 140 万美元(1996 年的美元币值)，以天然气 3.8 美元/MMBtu 及电价 5 角/千瓦时计算，回收期约 2.6 年左右。

使用颗粒很细的碎玻璃会有问题，因为碎玻璃在遇热加压的情况下会结成团，阻碍碎玻璃的流动。一旦流速减缓，更聚集更多颗粒很细的碎玻璃，进一步阻碍废气的流动。要避免这个问题，可用控制系统来调节流速(McGrath 1996)。

1997 年时，Glashütte Gerresheim GmbH 公司位于杜塞道夫的工厂(隶属德国 Gerresheimer Glas 公司)淘汰原有的蓄热式横火焰池窑，改用全氧熔窑，并将配合料中的碎玻璃加以预热(详见本节的富氧/全氧燃烧玻璃熔窑)(Lubitz 1999)。附有预热器的全氧燃烧玻璃熔窑的具体能耗量约 3017 千焦/公斤玻璃(2.6 MMBtu/吨玻璃)。在没有预热配合料及碎玻璃的情况下，能耗量约为 3436 千焦/公斤玻璃(3.0 MMBtu/吨)，节能量约 419 大卡/公斤(0.36 MMBtu/吨)，相当于 12%。

想出以雨水床(raining bed)来预热配合料/碎玻璃的厂商(Tecogen 公司), 声称这种方法要比前述的方法更有效、更省钱(OIT 1999b; Breault et al. 1996)。使用雨水床时, 配合料与碎玻璃在不受阻碍的情况下通过热交换器, 由于接触到愈来愈高温的燃气, 配合料及碎玻璃的温度便持续上升。康宁公司、Thermo-Power 公司及 Praxair 公司在实验室针对带有雨水床配合料/碎玻璃预热器的热交换系统进行测试, 证实该设备可以预热钠钙配合料/碎玻璃至华氏 1000°F (或摄氏 500°C)以上(OIT 1999b)。在这过程中, 每吨玻璃约可回收 0.5 MMBtu 的能源。从美国所做的示范项目可看出, 预热温度若只有华氏 850°F (摄氏 450°C), 回收期估计为 1 年至 4 年; 预热温度若提高至华氏 1000°F (摄氏 500°C), 回收期可进一步缩短(Breault et al. 1996)。采用雨水床预热器的全氧燃烧玻璃窑, 厂商声称节能量可高达 25%, 同时延长熔窑的使用寿命(OIT 1999b)。此外, 由于原料在这过程中可顺畅流动, 就不会出现阻塞的问题。

### 5.8.5. 电炉

电助熔玻璃窑主要是生产特殊产品或数量不多的产品(如餐具)。以前, 由于电力成本相对较高, 使得大型燃料炉较受欢迎(因为电助熔窑的用能成本可能高达天然气熔窑的二倍, 实际情况要看天然气及电力的价格)。但近年来天然气价格大幅攀升, 对某些工厂来说, 使用电助熔窑可能较省钱, 实际情况要看当地电价而定。使用电炉并不会产生氮氧化物或悬浮粒子, 且由于改善排放的方法增多, 电炉成为含铅水晶玻璃及乳白色玻璃等玻璃制品, 成为降低因生产导致的污染的关键做法。

使用先进的电助熔玻璃窑来熔化钠钙玻璃及硼酸钠玻璃, 能耗为每吨 780-800 千瓦时。但调研显示(详见第四章), 目前电助熔窑的实际能耗通常会比前述的能耗量高出 30%至 40%, 证明在改善能效上, 有很大的潜力。

所有电助熔窑的处理量都偏小, 通常一天的处理量不会超过 75 吨。但取决于当地的电力价格, 大型熔窑可能比较经济实惠。

**顶部加热。**大多数的电炉会在配合料中使用电极, 以便将原料熔化成玻璃。瑞典 Sandvik Glassworks 及 Ramco 公司改造了一座配合料坩埚熔窑, 并在熔窑的顶部安装了电极, 用以提高、维持产品的质量, 提高可销售玻璃的比重(Thureson and Persson 1997), 并测试这熔窑能否生产无铅水晶, 同时将结果与未获改造的熔窑相比, 结果显示改造过的熔窑较为省电(3%至 4%), 可销售玻璃的产量也提高了 4%(Thureson and Persson 1997)。具体的节能量并不固定, 且由于质量提高, 原料损失也减少了 4%, 所

以，节能净值估计为 4%，回收期对于位于瑞典的工厂来说，为 1.3 年。虽然 Sandvik 工厂支付的确切电价资料无法公开取得，但瑞典工业用电价一般要比美国的工业用电价要便宜 20%至 30% (能源价格数据由国际能源总署提供)。所以，根据美国的国情，回收期约在 1 年左右，实际情况要看当地电价。

**优化电极的位置。**尽管通过电炉炉壁流失的能量相对很少，电炉内的热能分布在减少过热或过冷的问题上，却具有重要角色。使用的电极主要是钨电极或氧化锡电极。虽然氧化锡是堆叠在电炉炉壁，(冷却过的)钨电极，通常熔入融化的原料中，如此电极可自由流动(Hibscher et al., 2005)。氧化锡电极多半用于含铅水晶玻璃熔炉中。加热不均匀会更耗电，并降低产品质量。所以，根据使用电炉的几何形态，来优化电极的放置位置，是设计上很重要的一环。

**改用燃料加热。**如果燃料(天然气)与电力的价格差异不大，对产品质量的影响也不大的话，在加热电炉时，不妨考虑以燃料取代一部份的电力；要在不变更现有熔窑的设计下进行更换，是有可能的，但实际情况要看熔窑的设计，不然的话，熔窑就要进行大幅改造才行。

康宁公司对位于俄亥俄州 Greenville 城的特殊玻璃工厂进行审计，发现将全部用电的电炉改造成电炉外加使用天然气的配合料预热器后，每年虽多用 12,000 MMBtu 的天然气，却可节约 9 兆瓦时的用电量。以 2003 年的能源价格计算，每年节省约 208,000 美元的能源成本，回收期约 1.2 年(U.S. DOE 2005b)。

## 5.9. 前炉及成型

**过程控制。**对玻璃行业而言，由于玻璃的物理属性会因为温度的改变而出现变化，要控制前炉与熔窑并不简单(详见第 5.8 节有关炉窑控制)。对生产瓶罐玻璃的工厂而言，尤其要特别留意滴料的温度并将滴料的重量维持在一定的程度，这样做可减少淘汰的次数，提高生产力并节能。对浮法玻璃工厂而言，尤其要留意对锡槽温度的控制，这可通过对锡槽屋顶不同区域的温度进行控制来达成。

Universal Dynamics Technologies 公司与 Glass Consumers 公司针对前炉，开发了一款先进、名为 BrainWave 的自行调节过程控制器(adaptive process controller)(Kay et al. 2000)。开发人员声称，相较于一般的控制系统，这套系统可将玻璃温度设定所需时间缩短一半，同时增产 3.75% 至 20% (一般的瓶罐玻璃)，甚至 40% (特殊瓶罐玻璃)。随着废玻璃

量的减少，具体的能耗量也会减少，同时，花在维护上的心力也会减少，也不用向比例积分调节器那样，需要重新调节。回收期估计介于 2 个月至 9 个月之间。

荷兰 XPAR Vision 公司开发了另一套控制系统。这套控制系统在产品离开前炉前，以红外线对产品质量进行分析，如此可实时、持续地监控产品的质量。这套系统可结合滴料重量自动控制，进一步提高产量(Kats and Holtkamp 2004)。全球逾 20 家瓶罐玻璃工厂已安装了红外线监控系统，其中二家工厂((Longhorn Glass (Anheuser-Busch)及圣戈班瓶罐工厂)位于美国。由于不合格率下降，节能量预估为工厂整体能耗量的 2%至 3%。荷兰 Dongen 市的 Rexam 瓶罐工厂安装了其中一个系统，结果工厂节约了 5%的能源。每年带来的效益估计于 300 万美元，其中 200,000 美元是减少的能源成本支出(SenterNovem 2000)。

Lewis & Towers 公司在位于英国 Kent 市的玻璃瓶罐厂的成型机上，安装了性能较好的瓶罐重量控制系统(EEBPP 1994b)，这套由 British Glass 公司开发的滴料持续监控系统(CGMS)，适用于所有的系统，可将预先成型的滴料送至成型机，该系统可监测每个瓶罐滴料的重量，所以瓶罐一旦超重或过轻，就可进行修正。如此可节能并减少材料的浪费。此外，生产过程可以稳定下来、目标重量可以更加明确、多余的设备也可以免除。Lewis & Towers 公司发现每年节约的一次能源用量达 2.4 TJ(2.3 GBtu)，相当 8,600 美元(依 1993 年价格计算)。(1993 年)总投资为 26,000 美元(且安装时不用停机)，回收期为 18 个月。

西门子公司与 AEG 公司针对浮法玻璃工艺开发了能源控制系统。锡槽有高达 40 个区域可进行加热，此一过程要格外小心，才能确保产品的质量。使用电力来加热锡槽是相当耗电的，所以想要控制能耗量及生产成本，这方面的控制也是极为重要的。这套系统可降低电力不稳现象、减少启动时间并提高能效。但强化对锡槽的温控后，能效方面实际上能有多大的改善，这方面的数据缺失。

**使用高效前炉。**前炉是将熔化玻璃输送至成型机的管道。评估前炉的性能时，要依据制成率幅度、滴料温度是否维持一致、前炉反应速度，以及前炉是否能维持恒温。设计高效前炉时，要考量顶岩块的形状、排气装置的数量、位置及大小、燃烧及冷却废气时是否容易控制、温度是否一致、粘度是否均匀等要素。通常，用电或新型的前炉，能效要比老旧的型号高。

位于挪威的 Moss Glassverk 瓶罐玻璃公司于 1985 年，安装了一个全新、也是该公司的第一个用电的前炉(CADDET 1989)。该公司利用玻璃熔化时所含的电极进行加热，并利

用前炉管路内注入冷空气时产生的间接辐射进行冷却。加热及冷却均可通过控制系统进行调节。还未安装新的前炉前，每台旧式前炉一年要消耗 230 吨的天然气，相当 3000 兆瓦时。安装了新系统后，每台每年用电仅 350 兆瓦时，换算成一次能源折约 1078 兆瓦时，节能幅度高达 64%。这项改造工程每年位该公司省下 495,000 挪威币克朗(相当 95,000 美元)。其他的投资成本总计 750,000 挪威克朗(以 1987 年的美元币值计算，相当 120,000 美元)，回收期约为 1.5 年。

**富氧燃烧前炉。**Owens Corning 公司在美国能源部的支持下，正在对富氧燃烧前炉的用法，进行调研。前炉可能是生产纤维时最耗能的设备(可消耗高达 40%的燃料)。与使用富氧燃烧的熔窑(请见第 5.8.3 节)类似，使用氧气可降低燃料用量及碳排放量。本项技术尚未商业化，故不在此详述。

**加强保温。**有关保温部份，请见第 5.8.1 节。

## 5.10. 退火与后加工

**控制。**工艺控制系统的效率是否高，要看开发软件时在控制上采取了何种战略，以及传感器在采集工艺绩效上的做法是否妥当。Pfaudler Balfour 公司是英国一家专门供应化学及制药工业所需搪玻璃钢件制品及零件的大厂，该公司在进行玻璃涂层的电熔窑上安装了熔窑调度咨询系统(EEBPP 1994a)。这套专家系统一年省下 55,000 美元的电费(以 1989 年币值计算)、43,000 美元的人力、维护及维修成本(以 1989 年币值计算)，以及 74,000 的(一次性的)在制品成本。节省了 12%的用电量。整套系统的成本为 161,000 美元(以 1987 年币值计算)，回收期为 10 个月。除了有上述节约电力及电费的效益之外，调度系统也能让 Pfaudler Balfour 公司及时回应客户的需求，并减少在制品的库存量。

**厂房配置。**如果进入退火炉的材料与产品的温度因为内部运送过程太长变冷了，就有必要再加热。想要减少投入材料再加热的必要性，则玻璃熔窑与退火炉间的距离是愈短愈好。

炉龄期满要重建熔窑时，重新思考整个厂房的布局，为提高工厂生产力及能效的方法之一。

位于荷兰 Dongen 城的 Remax 公司藉由建造一座新的富氧燃烧炉(见第 5.8.3. 节)的机会，重新调整了瓶罐玻璃成型、退火及包装的生产流程，以缩短运输的距离，同时提高生产力。

**漏气。**冷空气可能会流入退火炉，扰乱退火炉内的热分布，冷却不均匀的结果，影响所及不只是能源的使用，还有产品质量。要减少流入退火炉的冷空气，可安装风阀或窗帘，或在材料进出退火炉时，减少输送带或滚轮附近的空气漏损程度。

**保温。**墙面是退火炉流失能量的地方，要减少这现象的发生以及启动时的能量流失，可选用低热质的保温材料。第 5.8.1.节有关于保温材料选择上一些问题的讨论。

同样地，材料入出退火炉是通过输送带或滚轮，滚轮如使用低热质材料，将可减少流失的热能。设置金属输送带时，可尽量不露于熔炉之外(如炉内输送带可在熔炉下方来回运转)。

**换用更好地产品干燥系统。**一些生产特殊玻璃的工厂要冷淬玻璃时，是将熔化玻璃浸在水槽内，之后使用多个退火炉来除掉水分。结合重力、过滤及热风干燥的干燥设备可缩短干燥时间、减少燃料用量，并提高产能。

Viox 公司位于华盛顿州西雅图的工厂，专门生产电子业专用的玻璃产品。该公司在取得 Bonneville 电力管理局的融资后所设计的淬火水槽，可将每批玻璃干燥所需时间从原先的 58 小时至 72 小时，缩短至 11 小时(CADDET 2000b)。每年节能 179,200 千瓦时；节能之外的其他益处包括：每年节省 14,637 美元的运行维护成本。该项目的成本为 43,630 美元，用能成本为每千瓦时 5 美分，回收期不到 2 年

**平板玻璃-玻璃镀膜。**在玻璃表层镀膜以提高玻璃能效的做法，已愈来愈普及。镀膜后太阳辐射仍可穿透玻璃，但可减少经由玻璃传导的热能。多种镀膜系统已可在市场上购得或正在开发中。

要进行连续镀膜可使用微波阳极系统。微波加热的好处是只有玻璃的温度升高，熔窑空气温度不受影响。1995 年，位于德国 Lauenförde 的 Interpane 公司安装了一台年处理量 300 万平方米(约 3200 万平方英尺)的微波真空镀膜设备，整个生产线的投资成本估计在 1500 万美元左右(Anon. 1995)。但我们并没有关于微波镀膜系统与非微波镀膜系统的能效表现的信息。

## 5.11. 新兴技术

虽然本能效指南着重介绍可经由商业手段取得的做法与技术，但目前在测试及开发中的新技术及新兴技术很多。我们将在本节讨论几种新兴技术。本节介绍的新兴技术并不能涵盖所有开发中的技术，想要对新兴技术有更深入的了解，请参考其他出版物(如 GMIC 2004)。

**振荡供燃料燃烧技术。**振荡供燃料燃烧技术是种新技术，目前正由美国天然气技术学会(GTI) 测试中。该技术迫使燃烧器内的燃料进行振荡，如此可在火焰中产生连续性的富燃料区及贫燃料区，传导的热能通过火焰亮度及振荡后会增加，且由于不采用化学计量燃烧，可避免火焰温度升高，产生氮氧化物的情况，整体氮氧化物的排放量可减少。现有的燃烧器要具有振荡供燃料燃烧技术，可在每个燃烧器的燃料管路上加装振荡阀，并加装可同时处理多个振荡阀的电子调节器。以空气、预热过的空气、高氧空气进行燃烧的系统也可进行改造。截至目前已有多个现场示范，包括四台退火炉及玻璃纤维熔窑。据报，此做法可节省 2%到 5%的燃料，并减少 30%至 50%的氮氧化物排放量(Wagner and Schrecengost 2002; GMIC 2000)。在本报告发表前，其中一台经过改造的玻璃熔窑已运行了 33 个月。

**分段式加热熔窑。**使用分段式加热熔窑时，配合料先在电炉内熔化，再加入到富氧燃烧炉。这样做可减少碳排放量并提高热效率，不过在保养维护上的要求较多，且每隔 3 年要维修一次，所以熔窑的使用寿命只有 15 年(EC-JRC 2000)。圣戈班公司与 Owens-Illinois 公司曾考虑采用分段式加热熔窑的设计，但目前两家公司尚未将此设计商业化。

PPG 公司生产的 P-10 熔窑包含四个分段加热设备(配合料预热/ 预分解、初熔、二次熔化、精炼)。PPG 公司在 1980 年代开发了这套工艺并加以商业化，有二个工厂已经采用。采用此设计的平板玻璃窑，最后的用能量为 4.0 MMBtu/吨(GMIC 2004)。为了减少市场上产能过剩的情况，该工厂后来停止运作，原因是此款设计所节约的成本，并没有比采用最先进的传统熔窑来得多。

为了进一步提高玻璃融化时的能效，各界对进一步改良分段式加热熔窑的兴趣依然很高(如荷兰的 TNO 及纽约的 Alfred 大学)。

**电浆熔炉。**全球有很多公司都试图开发电浆玻璃熔化系统(如 British Glass, Johns Mansville 及 PPG 等公司。由美国 PPG Industries 公司取得专利(专利号码 4,545,798)，目前在英国进行研发的氩气电浆熔炉，可在很短的时间内将玻璃熔化。对这种熔窑有

兴趣者，大多是采用分批、小规模生产的玻璃厂。Tetronics / Johns Manville 公司开发了一款双焊炬电浆熔炉用以熔化玻璃，而 British Glass 公司则使用三焊炬电浆熔炉。不过就玻璃熔化而言，这二套系统均未商业化。由于美国能源部的支持，目前有人对电浆熔化工艺进行深入的研究。但对于每天产能 20 吨以上的工厂，这项技术并不可行(EC-JRC 2000)。

**高速对流。**由芬兰 Tamglass 公司开发的新款 HSC™ 高速对流热加热器，由于使用熔窑内用于加热的一种纵向系统，通过对流传导过来的热能会更多(超过 50%以上)。由于使用单一热源，容易控制温度，所以产品质量也高。此外，Tamglass 公司声称产量增加高达 40%、能源成本降低、工艺过程的稳定度也提高(Tamglass 2003)。

**改造工艺过程以缩短在液槽的停留时间。**尽管讲求特定质量的玻璃在液槽内的停留时间必须符合最低规定，停留在液槽最久的时间，大多数是最后 10%的工艺过程。如果能将这段时间缩短，就能实现节能。目前有多款设计意在缩短玻璃停留在炉内的时间，如 AGA 费玻璃纤维熔窑、圣戈班公司的 SPEED 工艺过程及 Pilkington 熔窑，不过这些技术均尚未商业化。

**浸没燃烧熔化。**浸没燃烧熔化技术的开发始于 1960 年代。藉由将燃料、氧化剂与原料进行混合，该技术可以提高热转换效率。进行浸没燃烧熔化时，燃料是直接添加在熔化的配合料的表层内及下方。将燃烧器置于玻璃熔窑的底部可提高热转换效率，且能让熔化物产生剧烈的对流搅动。能源强度得以下降的主因是这套系统可将熔化分段进行，如此缩短熔化物停留在炉内的时间(Rue 2004)。相较于最先进的全氧燃烧玻璃窑，本技术带来的节能量预估在 5%至 7.5%之间，实际情况取决于是否有对炉壁流失的热能，进行利用。

本技术仅能使用天然气。先前几款设计出现的问题包括：起泡过多导致玻璃质量不佳、耐火砖磨损严重、熔窑底层太浅；优点包括开机(4 个小时)与关机(不管窑内是空的还是满的)的时间很短且操作容易、产品积压时间短、改变拉晶速度不花时间(同时能保持熔化物的均匀度)、可在炉壁不热的情况下安全运行、且不需要进行热修。固态废弃物可全数回收投入熔窑使用。另外，熔窑体积小、资本设备及维护的成本低、进料时有弹性(配合料可以混合，也可以不混)。目前已有五台每日可处理 75 吨矿棉的系统在乌克兰(二台)及白俄罗斯(三台)启用。目前美国有一家集团正对这项技术做进一步开发。自 2006 年的夏天开始，气技术学院在每小时处理量一吨的一家工厂，对这套系统进行试点。

**先进玻璃熔窑。**先进玻璃熔窑由气技术学院于 1980 年代开发完成。此熔窑的体积较小，且可以预热配合料，因此可减少能源的耗损与资本成本。先进玻璃熔窑系统对隔热用玻璃纤维及硅酸钠玻璃可能最为有用(GMIC 2004)。不过，先进玻璃熔窑系统还未经大规模的商业试行。

**空气底循环。**玻璃生产工艺过程使用的蒸汽量不多，所以玻璃行业使用气电联产的情况也有限，此时可以选择空气底循环。使用这做法时，气炉产生的余热可以用来预热玻璃窑的助燃空气。Korobitsyn (2002)曾对多款熔窑(再生式、蓄热式、全氧燃烧)的空气底循环的使用情况进行研究，发现不同熔窑会产生不同程度的节能量。平均节能量估计为 10%，回收期预估为 3 年至 4 年(根据荷兰的物价条件)。虽然已有人针对这项技术提出示范项目，目前玻璃行业尚未进行商业应用。

**回收玻璃纤维。**对玻璃纤维行业而言，回收自家工厂制造的废玻璃显然难度很高，因为废弃材料所含的杂质，在纤维成型的过程中，经常导致细丝断裂。美国制造玻璃纤维的过程中，一年产生的废玻璃约在 260000 吨左右，如果能自家工厂能回收这些废玻璃的话，美国玻璃行业一年可省下 700 万美元以上的用能成本与废物处理成本(ANL 2003)。Argonne 国家实验室根据热处理原理，开发了一套玻璃纤维回收工艺流程，投资回收期估计为 2 年，在编写本指南的同时，这项技术尚未商业化。

**利用废玻璃进行切割。**磨料水射流切割加工技术使用废玻璃作为磨料，用于平板建筑玻璃及车用玻璃的后处理。废玻璃每磅约 0.0035 美元，相较于传统用的石榴石，要便宜近 100 倍(U.S. DOE 2001a)。尽管我们没有本项技术相关的量化数据，但使用废玻璃来切割玻璃，预估可省下大量成本，同时赋予废玻璃一个重要用处，否则就全进了掩埋场。

**其他新兴熔制技术。**玻璃制造业协会于 2001 年 2 月举办了一场“未来玻璃熔制技术”的研讨会(GMIC 2001)。会中讨论了多项新兴技术，如由 M. P. Schlienger 设计的电弧炉，是以配合料替代耐热侧边墙来进行保温(美国专利号马 3,328,149, 01/27/67)、旋风熔炉(美国专利号马 3,510,289, 05/05/70)、Praxair 公司正在开发、独立于熔制阶段的快速精炼法，以及节能效果介于 30%至 50%的微波加热法。

## 6. 摘要与结论

玻璃生产要消耗相当多的能源。2003 年时，美国玻璃行业的四大部门——平板玻璃、瓶罐玻璃、特殊玻璃及玻璃纤维——的能源成本超过 16 亿美元。美国玻璃行业平均的能源成本，占玻璃总生产成本的 14% 左右，让能源成为推高成本的一个重要原因。提高能源效率是降低成本及提高预期营收的一个重要手段，在能源价格高度波动的时代，尤其重要。

美国玻璃行业在提高能源效率上的潜力很大。一个目标清楚、富有战略性的能源管理计划，可将整个组织内可实施能效措施与节能做法的地方找出来。面对逐步上涨的能源价格，美国许多玻璃制造公司已开始改善能源效率；这些公司也陆续享受到能效投资带来的好处。

美国玻璃行业内的每家工厂，要以富有成本效益的方法降低能耗，做法很多。本能效指南已找出很多适用于组件、工艺流程、系统和整个组织单位的能效措施和技术。表 10 和表 11 已分别列出通用的能效做法与适合特定工艺的能效做法。根据工业上实地应用后回报的案例研究数据，本指南也提供了多项能效措施的预期节能量及相关能源成本。此外，投资回收期与深入的技术文献中信息，只要有的话，本指南也都有收录。

虽然本能效指南介绍的各项能效措施中，有些措施的预期节能量相对上可能很少，整个工厂执行后的累计节能效果，却可能相当可观。此外，大部份的能效措施，投资回收期相对而言比较短。各别工厂与用户端实施这些节能做法的深度会有不同；持续对这些能效措施进行评估，对进一步找出还有哪些成本可以省下来，会有助益。

对于本能效指南介绍的各项能效措施，每家玻璃厂应就这些措施可带来的经济效益，以及这些措施是否适用于该厂，做进一步的研究，以评估这些措施是否确实可行。

## 致谢

本项工作通过美国能源部，获得美国环保署气候保护合作伙伴处的资助，属于该署能源之星项目的一部份，合同编号为 No. DE-AC02-05CH11231。

玻璃行业业内业外多位人士，在编制本能效指南的准备工作上，提供了很多宝贵的意见。作者尤其要特别感谢以下几位人士(根据英文字母顺序排序)，在我们编写本能效指南的过程中，提供了许多有用的意见与建议：Marshall Bullard (Visteon 公司)、Austin H. Bonnett (美国电气和电子工程师协会研究员)、Rolf Butters (美国能源部)、Elizabeth Dutrow (美国环保署)、Gary Groner (Johns Manville 公司)、Aaron Huber (Johns Manville 公司)、Patrick Jackson (康宁公司)、Ted Jones (国际能效协会)、Jim Lammie (Visteon 公司)、Elliot Levine (美国能源部)、Ilene Mason (国际能效协会)、John Malinowski (Baldor Electric 公司)、Aimee McKane (劳伦斯伯克利国家实验室)、Linda Raynes (电气设备维修协会)、John Toms (GAF Materials 公司)、Carsten Weinhold (Schott 北美分公司)、Jeff White (Visteon 公司)与 Gary Zaborowski (GAF Materials 公司)。

作者对本指南出现的错误，付完全的责任。本能效指南的观点，不必然代表美国环保署、美国能源部，或美国政府的观点。

## 7. 参考文献

AlChalabi, R., C. Schatz, L. Yap and R. Marshall (1995). Comparing Flat Flame Burners with Traditional Oxygen Ones. *Glass Industry*, August: 13-17.

Alesson, T. (1995). All Steam Traps are not Equal. Hydrocarbon Processing. Gulf Publishing Co., Houston, TX.

Anonymous (1984). Energy Use and Energy Efficiency in UK Manufacturing Industry up to the Year 2000, Chapter 2.5, "The Glass Industry". Vol 2. Her Majesty's Stationery Office, London, October 1984.

Anonymous (1995). Zweite Magentronanlage bei Interpane in Betrieb. *Glastechnische Berichte* 11 **68** p.164.

Anonymous (1997). Sauerstoffgenerator und neue Schmelzwanne bei Schott in Betrieb. *Glastechnische Berichte* 2 **70** p.18.

Anonymous (1998a). On-site Power Generation – an Efficient Investment. *Glass Industry*, September: 34-35.

Anonymous (1998b). Trends in Oxy – fuel Furnace Design. *Glass Industry*, May: 18, 23, 26.

Anonymous (1999). Conference Addressing Manufacturing Problems, *Glass Industry*, December: 15-16, 21-23.

Anonymous (2005). Combustion Under Control. *Glass* April 2005, p.82.

Argent, R. D. and G. Dickinson (1995). Installation of Oxy – fuel and Regenerative Ceramic Burner Firing and its Relationship to NO<sub>x</sub>/melting Costs. *Glass Technology*, 36 (5): 142-146.

Audin, L. (1996). Natural Gas Engine-Driven Air Compressors, New Money-Saving Option Requires Careful Analysis. E-Source Tech Update. July.

Babcock, E., A. Elaahi, and H.E. Lowitt (1998). The U.S. Glass Industry: An Energy Perspective. Prepared by Energetics, Inc., for the United States Department of Energy. DOE/RL/01830-T60.

Backhausen, J. (2000). Energy – Saving and Emission – Reduction Combustion Technologies for Glass Melting. Available at <http://www.combustiontec.com/techart/jorgweb.htg/jorgweb.htm>, July 2000.

Backx, T., J. Ludlage, A. Koenraads (2000). Application of Model Predictive Control for Quality Control of Glass Melting Processes. IPCOS Technology, the Netherlands. Available at: <http://www.esat.kuleuven.ac.be/~HK05/les4/icg2000.pdf>.

Baen, P. R. and R. E. Barth (1994). Insulate Heat Tracing Systems Correctly. *Chemical Engineering Progress*. September: 41-46.

Barnish, T. J., M. R. Muller, and D. J. Kasten (1997). Motor Maintenance: A Survey of Techniques and Results. Proceedings of the 1997 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Beerkens, R.G.C., H.A.C. van Limpt and G. Jacobs (2004). Energy Efficiency Benchmarking of Glass Furnaces. *Glass Science & Technology* 2 **44** pp.47-57.

Beutinger, M. (1995). Einsatz von Recyclingglas in der Hohlglasschmelze. *Glastechnische Berichte* 4 **68** pp.51-58.

Birle, A. (2005). DeNOx Oil and Gas Burners. *Glass* April 2005, p.81.

Bloss, D., R. Bockwinkel and N. Rivers (1997). Capturing Energy Savings with Steam Traps. Proc. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, American Council for Energy Efficient Economy, Washington DC.

Bristol Park Industries (2002). URL: <http://www.wattman.com/>.

Brown, G. (1995). Cleanfire™ Low NO<sub>x</sub> Burner. *Glstech. Ber./Glass Sci. Technol.* 68 (2): 80.

Browning, R and J. Nabors (1997). Test Focuses on Improving Oxy – fuel Glass Melter Efficiency. *Glass Industry*, April: 32-38.

Caffal, C. (1995). Energy Management in Industry. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), The Netherlands. Analyses series 17, December.

Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC) (2001a). Boilers and Heaters, Improving Energy Efficiency. Natural Resources Canada, Office of Energy Efficiency. August.

Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC) (2001b). Energy Efficiency Opportunity Guide in the Lime Industry—Canadian Lime Institute. Natural Resources Canada, Office of Energy Efficiency.

Carty, W.M., U. Kim and C.W. Sinton (2004). Selective Batching for Improved Commercial Glass Melting. *Ceramic Bulletin* October 2004, pp. 28-32.

Carvalho, M.G., N. Speranskaia and M. Nogueira (1999). Expert System for Energy Efficiency and Pollution Abatement in Industry (Final Report). Instituto Superior Tecnico, Lisbon, Portugal.

Cassidy, V.M. (2000). Glass Container Maker gets Smart with Control Technology. *A-B Journal* 1 7 (March 2000).

Castellow, C., C. E. Bonnyman, H. G. Peach, J. C. Ghislain, P. A. Noel, M. A. Kurtz, J. Malinowski, and M. Kushler (1997). Energy Efficiency in Automotive and Steel Plants. Proceedings of the 1997 ECEEE Summer Study, Stockholm, Sweden.

Cattaneo, J.J. (2001). The U.S. Glass Container Industry. *International Glass Review*, Issue 3, 2001, pp.9-14.

Cayless, M. A. and A. M. Marsden (Eds.) (1983). Lamps and Lighting. Edward Arnold, London.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (1989). Electric Forehearth with Indirect Cooling (EFIC) Saves Energy. Case study 2C.E06.002.89.NO.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (1994). High Efficiency Motors for Fans and Pumps. Case study UK94.502/2B.FO5.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (1997). Saving Energy with Efficient Compressed Air Systems. Maxi Brochure 06.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (1998). Variable Speed Drive for an Air Compressor Reduces Electricity Consumption. Case Study DK-1998-507.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (2000a). New Glass Furnace with Energy Efficiency Features and Improved Insulation. Case Study UK00.505/2C.F06.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (2000b). Product Drying System in a Specialty Glass Manufacturing Plant. Project number US-00-518.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (2001). Saving Energy with Daylighting Systems. Maxi Brochure 14.

Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADET) (2003). AC Inverter Drives on Fan Motors Improve Energy Efficiency by over 50%. Case Study UK-2002-022.

Chmelar, J. and R. Bodi, and E. Muysenberg (2000). Supervisory Advanced Control of Glass Melters and Forehearths by the GS Expert System. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.*, 73 (9): 276-84.

CIPCO Energy Library (CEL) (2002). "Motors and Drivers - Rewinding motors", APOGEE Interactive, Inc <http://cipco.apogee.net/mnd/merrovvr.asp>

Clark-Monks, C. (2001). Glass Melting Furnaces – Today. *International Glass Review*. Issue 1, 2001 pp.61-64.

Compressed Air Challenge (CAC) (2002). Guidelines for Selecting a Compressed Air System Service Provider and Levels of Analysis of Compressed Air Systems.  
<http://www.compressedairchallenge.org>.

Consortium for Energy Efficiency (CEE) (2007). Energy-Efficiency Incentive Programs: Premium-Efficiency Motor & Adjustable Speed Drives in the U.S. and Canada. Boston, Massachusetts. May.

Copper Development Association (CDA) (2000). Cummins Engine Company saves \$200,000 per Year with Energy-Efficient Motors. Case Study A6046, New York, NY.

Copper Development Association (CDA) (2001). High-Efficiency Copper-Wound Motors Mean Energy and Dollar Savings. New York, New York.

Copper Development Association (CDA) (2003). Energy Efficiency Case Study: Brass Mill Cuts Costs with NEMA Premium<sup>®</sup> Motors.  
[http://www.copper.org/applications/electrical/energy/Brass\\_Mill\\_Cuts\\_Cost\\_A6089.html](http://www.copper.org/applications/electrical/energy/Brass_Mill_Cuts_Cost_A6089.html)

D'Antonio, M., N. Hildt, Y. Patil, S. Moray, and T. Shields (2003). Energy Efficiency Opportunities in the Glass Manufacturing Industry. Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, Rye Brook, New York.

Dalbey, R. and R. Purser (1996). Color Modification of Post-Consumer Cullet. Clean Washington Center, Seattle, WA.

Damsell, M. J., M. L. Joshi, J. R. Latter and D. B. Wishnick (1996). 100% Oxy-fuel Firing: the Real Story. *Glass Technology*, 37 (4): 114-17.

De Almeida, A., F.J.T.E. Ferreira, P. Fonseca, B. Chretien, P. Souet, H. Falkner, J. Reichert, C.T. Peterson and D. Both (2002). VSDs for Electric Motor Systems. Coimbra: University of Coimbra, Portugal.

Department of Energy. (DOE) (1997). What's New in Building Energy Efficiency – Selecting Windows for Energy Efficiency. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Building Technology Program.

Department of Energy (DOE) (2001a). Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Best Practices Program.

Department of Energy (DOE) (2001b). Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Replace Vee Belts with Cogged or Synchronous Belt Drives. [http://www.oit.doe.gov/bestpractices/explore\\_library/pdfs/motor3.pdf](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/explore_library/pdfs/motor3.pdf)

Ebeling, C and T. Bobbit (2000). On – site Technology Expands Oxy-fired Furnaces. *Glass Industry*, October: 10, 13-15.

Efficiency Partnership (2004). Industrial Product Guide – Manufacturing and Processing Equipment: Compressed Air Equipment. Flex Your Power, San Francisco, California.

Einstein, D., E. Worrell and M. Khrushch (2001). Steam Systems in Industry: Energy Use and Energy Efficiency Improvement Potentials. In: 2001 American Council for an Energy Efficient Economy Proceedings of the 2001 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry.

Ehrig, R., J. Wiegand and E. Neubauer (1995). Five Years of Operational Experience with the SORG LoNOx Melter. *Glasmach. Ber. Glass Sci. Technol.*, 68 (2): 73-78.

Electric Apparatus Service Association (EASA) (2003). The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. St. Louis, Missouri.

Electric Apparatus Service Association (EASA) (2006). ANSI/EASA Standard AR100-2006. Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus. St. Louis, Missouri.

Eley, C. and T. M. Tolen, J. R. Benya, F. Rubinstein and R. Verderber (1993). Advanced Lighting Guidelines: 1993. Prepared for the Department of Energy (DOE), California Energy Commission (CEC) and Electric Power Research Institute (EPRI).

Efficiency Partnership (2004). Industrial Product Guide – Manufacturing and Processing Equipment: Compressed Air Equipment. Flex Your Power, San Francisco, California.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1994a). Furnace Scheduling Advisory System. Good Practice Case Study 135. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1994b). Improved Process Control on a Glass Container Forming Machine. Good Practice Case Study 217. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1995). Refurbishment of a Compressed Air System. Good Practice Case Study 277. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1996a). Effective Energy Efficiency through Total Quality Management. Good Practice Case Study 328. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1996b). Monitoring and Targeting in the Glass Manufacturing Industries. Good Practice Guide 131. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1998a). Burners and their Controls. Good Practice Guide 252. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1998b). New Glass Furnace with Energy Efficiency Features and Improved Insulation. Good Practice Case Study 371. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (1999). The Performance of a Variable Speed Air Compressor. New Practice Case Study 116. United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (2000). Technology Benchmarking in the UK Glass Sector. Energy Technology Support Unit, Harwell, United Kingdom.

Energy Efficiency Best Practice Programme (EEBPP) (2001). Burner Sealing Rings Save Energy and Reduce NO<sub>x</sub> Emissions. General Information Leaflet 58. United Kingdom, March 2001.

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy (1994). In: Manufacturing Consumption of Energy 1991. EIA, Office of Energy Markets and End Use, Washington, DC.

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy (1997). In: Manufacturing Consumption of Energy 1994. EIA, Office of Energy Markets and End Use, Washington, DC.

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy (2001). Manufacturing Consumption of Energy 1998. EIA, Office of Energy Markets and End Use, Washington, DC

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy (2005). Manufacturing Consumption of Energy 2002. EIA, Office of Energy Markets and End Use, Washington, DC.

Energy Design Resources (EDR) (2000). Building Case Study – Biotech Lab and Office.

Enneking, C.Q.M. (1994). Bewertung von Altglasscherben und Konsequenzen für den Glasschmelzprozeß. *Glastechnische Berichte* 6 **67** pp.55-58.

Enninga, G., K. Dytrich and H. Barklage-Hilgerfort (1992). Practical Experience with raw Material Preheating on Glass Melting Furnaces. *Glastechnische Berichte* 7 **65** pp.186-191.

Environmental Technology Best Practice Program (ETBPP) (1997). Maximizing Cullet Recovery Reduces Batch Costs. Good Practice Case Study GC97.

Environmental Technology Best Practice Program (ETBPP) (1999). Glass Manufacturer Saves Money by Re-using Waste Batch. Good Practice Case Study NC167.

European Commission – Joint Research Centre (EC-JRC) (2000). Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry” Joint Research Centre, Seville, Spain.

Fenning, L. et al. (Eds.) 2001. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. Hydraulic Institute/Europump/ United States Department of Energy. ISBN: 1-880952-58-0.

Flamme, M., M. Kösters and M. Boß (2001). Burner Systems for Glass Melting Furnaces with Recuperative Air Preheating. *Glastech. Ber./ Glass Sci. Technol.*, 74 (11/12): 307-316.

Fleischmann, B. (1994). “Öfen zur vollelektrischen Schmelze von Glas in Deutschland” *Glastechnische Berichte* 12 **67** pp.157-161.

Fleischmann, B. (1997). Konventionell beheizte Glasschmelzöfen für die Hohl- und Flachglasherstellung im Deutschsprachigen Raum – Teil 2: Glasqualität und Energieverbrauch” *Glastechnische Berichte* 3 **70** pp.27-34.

Frisk, L.-J. and B. Linder of Kanthal AB (2001). High-Temperature Resistant Heating Elements in the Glass Industry. *The American Ceramic Society Bulletin* **80**(11): Manufacturing Briefs (November 2001).

Führ, B., B-H. Zippe and H. Drescher (1995). Neue Technologie beim Altglasrecycling: die Glasvermahlung. *Glastechnische Berichte* 5 **68** pp.63-69.

Galitsky, C., S.C. Chang, E. Worrell, and E. Masanet (2005a). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry: An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. Report LBNL-57260.

Ganapathy, V. (1994). Understand Steam Generator Performance. Chemical Engineering Progress. December.

Gebhardt, F. (1997). Feuerfeste Werkstoffe für den Betrieb van Glasschmelzöfen – Stand der Technik und Ausblick. *Glastechnische Berichte* 7 **70** pp.95-102.

Glass Gazette (2003). European Glass Recycling in 2002. *Glass, Science and Technology*, 77 (1): 44.

General Motors (GM) (2001). Resource Conservation/Pollution Prevention/Energy Management. General Motors website. <http://www.gm.com/company/environment> or [http://www.gm.com/company/gmability/environment/env\\_annual\\_report/ehsreport/html/sec07/content03.htm](http://www.gm.com/company/gmability/environment/env_annual_report/ehsreport/html/sec07/content03.htm)

Glass Manufacturing Industry Council (GMIC) (1999). Workshop Proceedings: Oxy-Fuel Issues II: Approaching the New Millennium, Washington, D.C. February 10, 1999.

- Glass Manufacturing Industry Council (GMIC) (2000). Workshop Proceedings: Advances in Combustion Technologies for Glass Processing, Pittsburgh, PA. May 2, 2000.
- Glass Manufacturing Industry Council (GMIC) (2001). Workshop Proceedings: Glass Melting Technologies of the Future, Washington, D.C. February 22, 2001.
- Glass Manufacturing Industry Council (GMIC) (2002). Glass Industry Technology Roadmap. Westerville, Ohio.
- Glass Manufacturing Industry Council (GMIC) (2004). Glass Melting Technology: A Technical and Economic Assessment. Prepared for the U.S. Department of Energy, Office of Industrial Technologies. Contract #DE-FC36-02D14315. Westerville, Ohio.
- Glass Packaging Institute (GPI) (1996). Solid Waste and Recycling Policy. Glass Packaging Institute, Washington, D.C.
- Glass Packaging Institute (GPI) (2002). Glass Packaging Institute Environmental Policy, available at <http://www.gpi.org/Envio.html> (under Recycling).
- Gas Technology Institute (GTI) (2002). Industry Drivers and Economics of Oxy – Gas Use in the U. S. Glass Industry. <http://griweb.gastechnology.org/pub/oldcontent/tech/ind-eu/ofglass/ofglass.html>. 1-17.
- Grahl, C. (2002). Saving Energy with Raw Materials. *Ceramic Industry*, July: 13-15.
- Greenroofs.com (2001). Website: [http://www.greenroofs.com/north\\_american\\_cases.htm](http://www.greenroofs.com/north_american_cases.htm).
- Griffin, B. (2000). The Enbridge Consumers Gas “Steam Saver” Program (“as found” performance and fuel savings projects from audits of 30 steam plants). In: Twenty-second National Industrial Energy Technology Conference Proceedings. Houston, Texas. April 5-6: 203-213.
- Harrell, Greg (2005). Energy, Environment and Resources Center. Personal written communication, January.
- Haggerty, N. Kent, T. P. Malone and Dr. J. Crouse (1998). Applying High Efficiency Transformers. *IEEE Industry Applications Magazine*, November/December: 50-56.
- Hibscher, C.W., D.H. Davis, P.R.H. Davies, and M.P. Davies (2005). TECO: A Designer’s Insight into All-Electric Melting. *Glass Machinery & Accessories* 2/2005 pp.85-91.
- Holtcamp, W. (2001). A Grass-Roofs Effort, Secret Gardens Conserve Energy and Cool the Air. *Sierra Magazine*. May/June. <http://www.sierraclub.org/sierra/200105/hearth.asp>.

- Honda (2001). Honda of America Manufacturing, Marysville, Ohio, Case Study.  
<http://solstice.crest.org/efficiency/pboosters/ohio/html/honda.html>
- Howe, B. and B. Scales (1995). Assessing Processes for Compressed Air Efficiency. E Source Tech Update, E-Source, Boulder, CO.
- Industrial Assessment Center (IAC) (2005). Industrial Assessment Center Database version 8.2.  
[http://oipea-www.rutgers.edu/database/db\\_f.html](http://oipea-www.rutgers.edu/database/db_f.html)
- Ingersoll-Rand (2001). Air Solutions Group—Compressed Air Systems Energy Reduction Basics.  
<http://www.air.ingersoll-rand.com/NEW/pedwards.htm> June 2001.
- James, P.I. (2001). The U.S. Glass Industry – Year of Moderate Growth ahead for the U.S. Glass Industry. *International Glass Review* Issue 1, 2001, p.20-23.
- Jamison, K., J. Eisenhauer and J. Rash of Energetics, Inc. under guidance of M. Greenman of GMIC and E. Levine of OIT (2002). Glass Industry Technology Roadmap. April.
- Johnston, B. (1995). 5 Ways to Greener Steam. *The Chemical Engineer* 594 (August 17): 24-27.
- Jones, Ted (1997). Steam Partnership: Improving Steam Efficiency through Marketplace Partnerships. Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington D.C.
- Joshi, M. L., J. Backhausen and P. J. Mohr (1996). TV Glass Oxy – Fuel Conversion Addresses Both Environmental and Economics Issues. *Glass Industry*, February: 24-25.
- Jump, D. and M. Modera (1994). Energy Impacts of Attic Duct Retrofits in Sacramento Houses. Lawrence Berkeley National Laboratory. Proceedings of ACEEE 1994 Summer Study, Washington, D.C.
- Kaeser Compressors, Inc. (1998). Compressed Air System Design Considerations. *Glass Industry*, October: 32, 35-36.
- Kats, H. and M. Holtkamp (2004). A New Gob Weight Control System. *Glass*, September 2004, p.1
- Kay, J. and P. Eng and D. Matovich (2000). APC in the Glass Industry – A Path to Improved Profitability. *Glass Industry*, March: 17-18, 20, 22.
- Kobayashi, H., K.T. Wu, G.B. Tuson, F. Dumoulin and H.P. Kiewall (2005). Tall Crown Furnace Technology for Oxy-Fuel Firing. *Glass* April 2005, p.78-79.

Konopacki, S., H. Akbari, L. Gartland and L. Rainer (1998). Demonstration of Energy Savings of Cool Roofs. Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-40673. Berkeley, CA.

Korobitsyn, M. (2002). Industrial Applications of the Air Bottoming Cycle. *Energy Conversion & Management* **43** pp.1311-1322.

Kostick, D. (2000). Soda Ash. In: United States Geological Survey (USGS) Minerals Yearbook 2000: 72.1-72.5.

Lauwers E. and H. Strohberg (1994). Industrial Experience with Oxygen – fired Glass Furnaces. *Glastech. Ber./ Glass Sci. Technol.* **8** **67** pp.231-235.

Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) and Resource Dynamics Corporation (1998). Improving Compressed Air System Performance, a Sourcebook for Industry. Prepared for the U.S. Department of Energy, Motor Challenge Program.

LeBlanc, J., R. Marshall, G. Prusia, T. Clayton, N. Simpson and A. Richardson (2002). A New Twist to Oxy-Fuel. *Ceramic Industry*: October: 42-46.

Legeiret, T., L. Philippe, R. Tsiava and B. Marié (1997). Advanced Oxygen Burner for the Glass Industry. *Glastech. Ber./ Glass Technol.*, **9** **70** pp.283-86.

Lighting Research Center (LRC) (2001). Lighting Futures. LEDs: From Indicators to illuminators? 3(4): <http://www.lrc.rpi.edu/Futures/LF-LEDs/index.html>.

Lindig, M. and G. Wachter (2000). Oxy – fuel Conversion of a TV Glass Tank and Experience with Noncatalytic Denitrification. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.*, **1** **73** pp.1-7.

Lubitz, G. (1999). Oxy – fuel Melter with Batch and Cullet Preheater. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.*, **1** **72** pp.21-24.

Lutskanov, S. (1996). Thermal Insulation of Glass Furnace Crowns. *Glass Technology* **37** (4): 112-13.

Lutskanov, S. (2003). Saving fuel by efficient crown insulation. *Glass, Science and Technology* **76** (6): 318-320.

Magnadrive (2005). <http://www.magnadrive.com/> (accessed June 30th, 2005)

Mattocks, G. R. (1998). Use of Synthetic Air for Combustion in Regenerative Furnaces. *Glass Technology*, **39** (5): 148-156.

Martin, N., M. Ruth, and L. Price, R. N. Elliott, A. M. Shipley, and J. Thorne (2000). Emerging Energy-Efficient Industrial Technologies. LBNL/ACEEE, Berkeley, CA.

McGrath, J. M. (1996). Preheating Cullet while using the Cullet Bed as a Filter for Waste Gases in the Edmeston Heat Transfer/Emission Control System. *Glass Technology*, 37 (5): 146-50.

Motor Decisions Matter (MDM) (2007). Motor Planning Kit. Boston, Massachusetts.  
<http://www.motorsmatter.org/tools/mpkv21.pdf>

Nadel, S., R.N. Elliott, M. Shephard, S. Greenberg, G. Katz and A.T. de Almeida. (2002). Energy-Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program and Policy Opportunities. Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (2001). <http://www.nema.org>.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (2002). NEMA Standards Publication No. MG-1, Motors and Generators, Revision 3. Rosslyn, Virginia.

National Glass Budget (2001). 2001 Glass Factory Directory for North America, 89<sup>th</sup> edition. Hempstead, New York. Available through [www.glassfactorydir.com](http://www.glassfactorydir.com).

National Glass Budget (2004). 2004 Glass Factory Directory for North America, 92<sup>nd</sup> edition. Hempstead, New York. Available through [www.glassfactorydir.com](http://www.glassfactorydir.com).

Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM) (1993). Mixture Preheating Installation for a Glass Furnace. Project number NL-93-529.

Netherlands Organization for Energy and the Environment (NOVEM) (1997). An On-line Model Controlled Drying Process in the Glass Fiber Industry. Project number NL-97-509.

Office of Industrial Technologies (OIT) (1999a). Glass Industry of the Future. February. Document 454-567/80085.

Office of Industrial Technologies (OIT) (1999b). Integrated Batch and Cullet Preheater System. OIT Fact Sheet, Office of Industrial Technologies, Department of Energy, Washington, DC, February.

Office of Industrial Technologies (OIT) (2001). Glass – Low- NO<sub>x</sub> Burner to be Demonstrated. The OIT Times, Office of Industrial Technologies, Department of Energy, Washington, DC, July.

Office of Industrial Technologies (OIT) (2002). Anchor Glass Container Corporation Plant-Wide Energy Assessment saves Electricity and Expenditures (Best Practices Assessment Case Study), Office of Industrial Technologies, Department of Energy, Washington, DC.

Office of Industrial Technologies (OIT) (2003). Mill water Pumping System Optimization Improves Efficiency and Saves Energy at an Automotive Glass Plant. (Best Practices Assessment Case Study), Office of Industrial Technologies, Department of Energy, Washington, DC, March.

OTA (1993). Industrial Energy Efficiency. Office of Technology Assessment. Government Printing Office, Washington, D.C.

Papke, C. (1993). Glass Recycling and Reuse from Municipal Wastes. Recycling Sourcebook, Gale Research Inc., NY.

Parekh, P. (2000). Investment Grade Compressed Air System Audit, Analysis, and Upgrade. In: Proceedings 22nd National Industrial Energy Technology Conference. Houston, Texas. April 5-6: 270-279.

Pieper, H., T. Platzer and J. Becher (1995). Comparison of Ecological and Economic Aspects of a Modern Regenerative End – Fired Furnace and the Second Generation Sorg LoNO<sub>x</sub> Melter. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.*, 68 (7): 241-45.

Pieper, H. (1994). Large End-Fired Furnaces with a Melting Area of 100m<sup>2</sup> and More. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.* 67(8): 65-70.

Pieper, H. (1997). “Der Heutige Glasschmelzofenbau – Herausforderung zur Energieeinsparung und Umweltverträglichkeit” *Glastechnische Berichte* 8 70 pp.117-124

Portner, D. (1999). Experiences with an Oxy – fuel Container Furnace. *Glass Industry*, 80 (6): 25-28.

Price, A. and M.H. Ross (1989). Reducing Industrial Electricity Costs – an Automotive Case Study. *The Electricity Journal*, July 1989: pp.40-51.

R P Adams Co. (1998). Energy Recovery Simplifies Process of Air Drying. *Glass Industry*, October: 29-30.

Radgen, P. and E. Blaustein (Eds.) (2001). Compressed Air Systems in the European Union, Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions. Fraunhofer Institute, Karlsruhe, Germany.

Rikken, F. (2004). Creating an Optimal Batch Quality. [www.glasstec-online.com/ne\\_topic\\_1204\\_2](http://www.glasstec-online.com/ne_topic_1204_2)

Rue, D. (2004). Submerged Combustion Melting. *Ceramic Bulletin* October 2004 pp.18-20.

Rue, D.M., J. Servaites and W. Wolf. 2006. Industrial Glass Bandwidth Analysis. Glass Technology Institute, Des Plaines, IL. March 2006.

Ruth, M. and P. Dell'Anno (1997). An Industrial Ecology of the US Glass Industry. *Resources Policy*, 23(3): 109-124.

Sauer, T.C. and E. Lauwers (1994). "Neueste Ergebnisse beim Einsatz von Oxy-Fuel-Technologie in Glasschmelzöfen" *Glastechnische Berichte* 10 **67** pp.117-121.

Scales, B. (2002). Personal written communication.

Scales, W., and D. M. McCulloch (2007) Best Practices for Compressed Air Systems- Second Edition, Compressed Air Challenge®. Washington, DC. <http://www.compressedairchallenge.org/>

Schaeffer, H. A. (1996). Recycling of Cullet and Filter Dust in the German Glass Industry. *Glastech. Ber./ Glass Sci Technol.*, 69 (4): 101-06.

Schatz, C. (1996). Flint Container Furnace Performance Bolstered by Oxy – fuel Burner. *Glass Industry*, May: 22-23.

SenterNovem (2000). Successful Market Introduction of Infrared Inspection System for the Glass Industry (Succesvolle marktintroductie van infrarood inspectiesysteem voor de glasindustrie). SenterNovem, Utrecht, The Netherlands.

SenterNovem (2005a). Energy Recovery from Flue Gases from an Oxyfuel Gas Furnace (Hergebruik Energie uit Rookgassen van een Oxyfuel Gasoven). SenterNovem, Utrecht, The Netherlands.

SenterNovem (2005b). Oxy-fueled Glass Furnace (Zuurstofgestookte Glasoven). SenterNovem, Utrecht, The Netherlands.

Sezgen, O. and J. G. Koomey (2000). Interaction between lighting and space condition energy use in US commercial buildings. *Energy* **25** pp. 793-805.

Sicon (2005). <http://www.environmental-expert.com/technology/sicon/sicon.htm>. Accessed 11-05-05

Smirnov, V. and C. Allen (2005). Development of a High Luminosity Flat Flame Burner. *Glass* April 2005, p.76.

SORG (2002). Website:

[http://www.sorg.de/Englisch/Technology\\_E/SORG\\_Systeme/Flexmetler\\_e.htm](http://www.sorg.de/Englisch/Technology_E/SORG_Systeme/Flexmetler_e.htm)

Southern California Edison (SCE) (2003). Saving Money with Motors in Pharmaceutical Plants.

Southern California Edison Educational Publication. Rosemead, California.

[http://cee1.org/ind/mot-sys/Pharm\\_Bro.pdf](http://cee1.org/ind/mot-sys/Pharm_Bro.pdf)

- Tamglass (2003). ProConvection™ Horizontal Convection Furnace. Pamphlet.
- Thureson, O. and S. Persson (1997). Top Heating of the Glass Surface in an Electrically Heated Pot Furnace. *Glasteknisk Tidskrift* 1 52 pp.8-11.
- Toyota (2002). Personal communication with Brad Reed, Toyota Motor Manufacturing North America, Inc., Kentucky, May 2002.
- Turiel, I., B. Atkinson, S. Boghosian, P. Chan, J. Jennings, J. Lutz, J. McMahon, and G. Rosenquist (1995). Evaluation of Advanced Technologies for Residential Appliances and Residential and Commercial Lighting. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- Tutterow, V. (1999). Energy Efficiency in Pumping Systems: Experience and Trends in the Pulp and Paper Industry. Proc. 1999 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, DC.
- UNIDO (2000). UNIDO & Sustainable Industrial Development: Energy Conservation in the Glass Industry. III. Promotion of Energy Conservation Technology.  
<http://www.unido.org/ssites/env/sectors/sectorsglass08d.html>
- Universal Dynamics (2003). Adaptive Control of Glass Bottle Manufacturing  
<http://www.brainwave.com/pdf/glassmax.pdf> (accessed February 2003).
- United States Census (1995). Statistics for Industry Groups and Industries: 1995. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report #M93(AS)-1.
- United States Census (1996). Statistics for Industry Groups and Industries: 1994. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report #M94(AS)-1.
- United States Census (1998). Statistics for Industry Groups and Industries: 1996. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report #M96(AS)-1.
- United States Census (2001). Current industrial reports - Inorganic chemicals: Bureau of the Census, MQ325A(99).
- United States Census (2003). Statistics for Industry Groups and Industries: 2001. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report #M01(AS)-1.
- United States Census (2005a). Statistics for Industry Groups and Industries: 2003. United States Census Bureau, Washington, D.C. Report #M03(AS)-1 (RV).
- United States Census (2005b). U.S. International Trade Statistics by 6-Digit NAICS Code. United States Census Bureau, Washington, D.C. [http://censtats.census.gov/naic3\\_6/naics3\\_6.shtml](http://censtats.census.gov/naic3_6/naics3_6.shtml)

United States Department of Energy (DOE) (1996). Replacing an Oversized and Underloaded Electric Motor. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Fact Sheet DOE/GO-10096-287.

United States Department of Energy (DOE) (2001a). Processed Glass Provides an Economically Superior Material for Use in Abrasive Waterjet Cutting Systems. Office of Industrial Technologies, Washington, D.C. Glass Fact Sheet I-GL-767.

United States Department of Energy (DOE) (2001b). Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Best Practices Program. Information on steam.  
<http://www.oit.doe.gov/bestpractices/steam/>

United States Department of Energy (DOE) (2002a). Energy and Environmental Profile of the Glass Industry. Office of Industrial Technologies, Department of Energy, Washington, DC.

United States Department of Energy (DOE) (2002b). Audits Highlight Savings Opportunities. Office of Industrial Technologies, Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE) (2003). Compressed Air System Upgrade Improves Production at an Automotive Glass Plant. Office of Industrial Technologies, Washington, D.C.

United States Department of Energy (DOE) (2004a). Glass Industry Analysis Brief. Energy Information Administration, Washington, D.C. <http://www.eia.doe.gov/emeu/mecs/iab98/glass/index.html>

United States Department of Energy (DOE) (2004b). Corning Inc.: Proposed Changes at Glass Plant Indicate \$26 Million in Potential Savings. Industrial Technologies Program, U.S. Department of Energy, Washington, DC.

United States Department of Energy (DOE) (2004c). Energy Tips – Compressed Air: Remove Condensate with Minimal Air Loss. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Compressed Air Tip Sheet #13.

United States Department of Energy (DOE) (2004c). Energy Tips – Compressed Air: Eliminate Inappropriate Uses of Compressed Air. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Compressed Air Tip Sheet #2.

United States Department of Energy (DOE) (2004d). Energy Tips – Compressed Air: Alternative Strategies for Low-Pressure End Uses. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Compressed Air Tip Sheet #11.

United States Department of Energy (DOE) (2005a). Natural Gas Navigator: Prices. Energy Information Administration, Washington, D.C. [http://tonto.eia.doe.gov/dnav/ng/ng\\_pri\\_top.asp](http://tonto.eia.doe.gov/dnav/ng/ng_pri_top.asp)

United States Department of Energy (DOE). (2005b). Energy Tips: Estimate Voltage Unbalance. Information Sheet. Office of Industrial Technologies, Washington, DC. Motor Systems Tip Sheet #7.

United States Department of Energy (DOE) (2006). Save Energy Now in Your Motor-Driven Systems. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C. Report DOE/GO-102006-2276.

United States Department of Energy (DOE) and Compressed Air Challenge (CAC) (2003). Improving Compressed Air System Performance - A Sourcebook for Industry. Office of Industrial Technologies, Washington, D.C.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (1995). Profile of the Stone, Clay, Glass and Concrete Industry. US EPA, Washington, DC (EPA/310-R-95-017).

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2001a). Green Lights Program (Currently part of the ENERGY STAR Program). <http://www.epa.gov/region07/specinit/p2/volprog/grnlight.htm>.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2001b). Energy Star Transformers. <http://www.epa.gov/Region7/specinit/p2/volprog/estrans.htm>.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2005a). Guidelines for Energy Management. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines\\_index](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_index)

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2005b). Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States. Facts and Figures for 2003. US EPA, Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2006). Teaming Up To Save Energy US EPA, Washington DC (Document 430-K-05-007).

Wagner, J. C. of the Gas Technology Institute (GTI) and R. A. Schrecengost of Synergistic Partners, Inc. (2002). Oscillating Combustion Technology. Available from GTI.

Wang, Y., E. Forssberg, and J. Sachweh (2004). Dry Fine Comminution in a Stirred Media Mill - MaxxMill®. International Journal of Mineral Processing 74S pp.S65-74.

Waste Resources & Action Programme (WRAP) (2004). Feasibility Study for the Reduction of Colour within the Glass Furnace. WRAP, Banbury, Oxon, United Kingdom, March 2004.

Whittemore, O.J. (1999). Energy Use and Efficiencies in Firing Ceramics, Melting Glass. *The American Ceramic Society Bulletin* 78 pp.69-71.

Wishnick, D., V. Smirnov, B. Hobson, J. Latter, K. Cook, D. Rue and M. Khinkis (2003). Development and Commercialization of the Next Generation Oxygen-Fuel Burner. Ceramic Bulletin July 2003, pp.9301-9307.

Wooley, E. (1992). Engineered Materials Handbook: Vol. 4 Ceramics and Glasses. Melting/Fining. ASM International, Materials Park, OH.

Worrell, E., J.W. Bode, and J.G. de Beer (1997). Energy Efficient Technologies in Industry - Analysing Research and Technology Development Strategies - The 'Atlas' Project. Department of Science, Technology & Society, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.

Xenergy, Inc. (1998). United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment. U.S. Department of Energy's Office of Industrial Technology, Washington, DC.

Zeitz, Ronald A. (Ed.) (1997). CIBO Energy Efficiency Handbook. Council of Industrial Boiler Owners, Burke, Virginia.

## 8. 语汇表

Al	铝(Aluminum)
APC	适应性过程控制(Adaptive process control)
ASD	可调速驱动器(Adjustable speed drive)
ASM	(美国人口普查)制造商年度调查 Annual Survey of Manufactures (of the U.S. Census)
B	硼(Boron)
Btu	英热单位(British Thermal Unit)
CAC	压缩空气挑战(Compressed Air Challenge <sup>®</sup> )
CaO	氧化钙(石灰石)(Calcium oxide (lime))
CDA	铜发展协会(Copper Development Association)
CFL	小型荧光灯(Compact fluorescent lamp)
cfm	每分钟立方英尺(Cubic feet per minute)
CGMS	Gob 持续监控系统(Continuous Gob Monitoring System)
CHP	热电联产(Combined heat and power)
CIPEC	加拿大工业节能项目(Canadian Industry Program for Energy Conservation)
CO	一氧化碳(Carbon monoxide)
CO <sub>2</sub>	二氧化碳(Carbon dioxide)
EASA	电气设备维修协会(Electric Apparatus Service Association)
EIA	(美国能源部)能源信息管理局(Energy Information Agency (U.S. Department of Energy))
ft <sup>2</sup>	平方英尺(Square feet)
ft <sup>3</sup>	立方英尺(Cubic feet)
GTI	美国天然气技术学会(Gas Technology Institute)
HCl	盐酸(Hydrochloric acid)
HF	氟化氢(Hydrofluoric acid)
HID	高强度放电灯(High-intensity discharge)
hp	马力(Horsepower)
HVAC	暖通空调(Heating, ventilation, and air conditioning)
IAC	工业(能源)评估中心(Industrial Assessment Center)
ISO	国际标准化组织(International Organization for Standardization)
kBtu	千英热单位(Thousand British Thermal Unit)
kcal	千卡(Kilocalorie)
kg	公斤(Kilogram)
kW	千瓦(Kilowatt)
kWh	千瓦时(Kilowatt-hour)

LBNL	劳伦斯伯克利国家实验室(Lawrence Berkeley National Laboratory)
LED	发光二极管(Light-emitting diode)
m <sup>2</sup>	平方米(Square meters)
MASIS	移动式发泡密封喷射系统(Mobile aerosol-sealant injection system)
MMBtu	百万英热单位(Million British Thermal Units)
MECS	生产能耗调查(Manufacturing Energy Consumption Survey)
mm	毫米(Millimeter)
MPC	模型预测控制(Model-based predictive control)
MW	兆瓦(Megawatt)
MWh	兆瓦时(Megawatt-hour)
Na <sub>2</sub> O	氧化钠(Sodium oxide)
NAICS	北美工业分类系统(North American Industrial Classification System)
NBER	国家经济研究局(National Bureau of Economic Research)
NEMA	国家电气制造商协会(National Electrical Manufacturers Association)
NLG	荷兰盾(Dutch Guilder)
NO <sub>x</sub>	氮氧化物(Nitrogen oxides)
O <sub>2</sub>	氧(Oxygen)
OEAS	富氧空气分段送风(Oxygen enriched air staging)
Pb	铅(Lead)
PID	比例-积分-微分控制器(Proportional, integral, derivative (controller))
PLC	可编程序控制器(Programmable Logic Controller)
PM	颗粒物(Particulate matter)
PSA	变压吸附 (Pressure swing absorption)
psi	磅/平方英寸(Pounds per square inch)
psig	磅/平方英寸(测量)(Pounds per square inch (gauge))
PVSA	真空变压吸附(Pressure vacuum swing absorption)
R&D	研发(Research and development)
SCM	浸没燃烧熔化(Submerged combustion melting)
SIC	标准行业分类(Standard Industry Classification)
SF <sub>6</sub>	六氟化硫(Sulfur hexafluoride)
SiO <sub>2</sub>	二氧化硅(石英)(Silicon dioxide (quartz))
SO <sub>2</sub>	二氧化硫(Sulfur dioxide)
TBtu	兆英热单位 Trillion British Thermal Units
UNIDO	联合国工业开发组织(United Nations Industrial Development Organization)
U.S. DOE	美国能源部(United States Department of Energy)
U.S. EPA	美国环保署(United States Environmental Protection Agency)
VSD	可调速驱动器(Variable speed drive)

VVC 变压控制器(Variable voltage control)

## 附录一：美国重点玻离工厂所在地

2004 年美国重点平板玻璃工厂<sup>29</sup>

公司	地点 - 城市	州	公司	地点-城市	州
<i>AFG Industries</i>	Victorville	加州	<i>Pilkington</i>	Lathrop	加州
	Spring Hill	堪萨斯州		Ottawa	伊利诺伊州
	Richmond	肯德基		Laurinburg	北卡罗来纳州
	Cinnaminson	纽泽西州	Rosford	俄亥俄州	
	Kingsport	田纳西州	<i>PPG Industries</i>	Fresno	加州
	Church Hill	田纳西州		Mount Zion	伊利诺伊州
	Flemington	西维吉尼亚州		Carlisle	宾夕法尼亚州
Mooresville	北卡罗来纳州	Meadville		宾夕法尼亚州	
<i>Cardinal FG</i>	Durant	奥克拉荷马州	Wichita Falls	德州	
	Chehalis	华盛顿州	<i>Automotive Components Holdings, LLC</i>	Tulsa	奥克拉荷马州
	Menomenie	威斯康星州		Nashville	田纳西州
	Portage	威斯康星州			
<i>Guardian Industries</i>	Kingsburg	加州			
	DeWitt	爱荷华州			
	Carleton	密歇根州			
	Geneva	纽约州			
	Floreffe	宾夕法尼亚州			
	Richburg	南卡罗来纳州			
	Corsicana	德州			

<sup>29</sup> 重点平板玻璃工厂的定义为，在「2001 年玻璃工厂名录」(2001 年国家玻璃预算)与工业技术办公室出版的「美国玻璃工业能源与环境概况」(2002 年美国能源部)中被归为平板玻璃“重点制造商”的公司。这些重点工厂所在地点的信息是取自「2004 年玻璃工厂名录」(2004 年国家玻璃预算)与各公司的网站。

2004 年美国重点瓶罐玻璃工厂<sup>30</sup>

公司	地点 - 城市	州	公司	地点-城市	州
<i>Anchor Glass</i>	Jacksonville	佛罗里达州	<i>圣戈班瓶罐公司</i>	Madera	加州
	Warner Robins	乔治亚州		Dolton	伊利诺伊州
	Lawrenceburg	印地安纳州		Lincoln	伊利诺伊州
	Winchester	印地安纳州		Dunkirk	印地安纳州
	Shakopee	明尼苏达州		Ruston	路易斯安那州
	Salem	纽泽西州		Millford	马萨诸塞州
	Elmira Heights	纽约州		Pevely	密苏里州
<i>Owens-Illinois</i>	Henryetta	奥克拉荷马州		Henderson	北卡罗来纳州
	Los Angeles	加州		Wilson	北卡罗来纳州
	Oakland	加州		Sapulpa	奥克拉荷马州
	Tracy	加州		Port Allegany	宾夕法尼亚州
	Windsor	科罗拉多州		Waxahachie	德州
	Atlanta	乔治亚州		Seattle	华盛顿州
	Streator	伊利诺伊州		Burlington	威斯康星州
	Lapel	印地安纳州			
	Charlotte	密歇根州			
	Auburn	纽约州			
	Winston-Salem	北卡罗来纳州			
	Zanesville	奥克拉荷马州			
	Muskogee	奥克拉荷马州			
	Portland	俄勒冈州			
	Brockway	宾夕法尼亚州			
	Clarion	宾夕法尼亚州			
	Crenshaw	宾夕法尼亚州			
Waco	德州				
Danville	维吉尼亚州				
Toano	维吉尼亚州				

<sup>30</sup>重点瓶罐玻璃工厂的定义为，在「2001 年玻璃工厂名录」(2001 年国家玻璃预算)与工业技术办公室出版的「美国玻璃工业能源与环境概况」(2002 年美国能源部)中被归为瓶罐玻璃“重点制造商”的公司。这些重点工厂所在地点的信息是取自「2004 年玻璃工厂名录」(2004 年国家玻璃预算)与各公司的网站。

2004 年美国重点玻璃纤维工厂<sup>31</sup>

公司	地点-城市	州	公司	地点-城市	州
<i>CertainTeed Corp.</i>	Chowchilla	加州	<i>Owens Corning</i>	Eloy	亚利桑纳州
	Athens	乔治亚州		Fort Smith	阿肯色州
	Kansas City	堪萨斯州		Santa Clara	加州
	Mountaintop	宾夕法尼亚州		Fairburn	乔治亚州
	Sherman	德州		Kansas City	堪萨斯州
<i>GAF Materials</i>	Chester	南卡罗来纳州		Delmar	纽约州
	Nashville	田纳西州		Mt. Vernon	俄亥俄州
<i>Guardian Industries</i>	Kingman	亚利桑纳州		Newark	俄亥俄州
	Albion	密歇根州		Huntingdon	宾夕法尼亚州
	Mineral Wells	密西西比州		Aiken	南卡罗来纳州
	Inwood	西维吉尼亚州	Anderson	南卡罗来纳州	
<i>Johns Manville</i>	Tucson	亚利桑纳州	Jackson	田纳西州	
	Corona	加州	Amarillo	德州	
	Willows	加州	New Braunfels	德州	
	Winder (2)	乔治亚州	Waxahachie	德州	
	Richmond	印地安纳州	Salt Lake City	犹他州	
	McPherson	堪萨斯州	<i>PPG Industries</i>	Shelby	北卡罗来纳州
	Berlin	纽泽西州		Lexington	北卡罗来纳州
	Edison	纽泽西州		Chester	南卡罗来纳州
	Defiance (4)	俄亥俄州		Forest	维吉尼亚州
	Cleburne	德州			
	Richmond	维吉尼亚州			

<sup>31</sup>重点玻璃纤维工厂的定义为，在「2001 年玻璃工厂名录」(2001 年国家玻璃预算)与工业技术办公室出版的「美国玻璃工业能源与环境概况」(2002 年美国能源部)中被归为玻璃纤维产品“重点制造商”的公司。这些重点工厂所在地点的信息是取自「2004 年玻璃工厂名录」(2004 年国家玻璃预算)与各公司的网站。

2004 年美国重点特殊玻璃工厂<sup>32</sup>

公司	地点-城市	州	公司	地点-城市	州
<i>康宁公司</i>	Harrodsburg	肯塔基州	<i>OSRAM Sylvania</i>	Versailles (2)	肯塔基州
	Canton	纽约州		Winchester	肯塔基州
	Corning (2)	纽约州		Lake Zurich	伊利诺伊州
	Blacksburg	维吉尼亚州		Hillsborough	新罕布什尔州
	Danville	维吉尼亚州		Manchester	新罕布什尔州
<i>GE Lighting</i>	Lexington	肯塔基州	<i>飞利浦照明公司</i>	St. Marys	宾夕法尼亚州
	Somerset	肯塔基州		Salina	堪萨斯州
	Circleville	俄亥俄州		Danville	肯塔基州
	Logan	俄亥俄州		Bath	纽约州
	Niles	俄亥俄州		Paris	德州
<i>GE Quartz</i>	Bridgeville	宾夕法尼亚州	<i>World Kitchen</i>	Fairmont	西维吉尼亚州
	Winchester	维吉尼亚州		Corning	纽约州
	Cleveland	俄亥俄州		Massillon	俄亥俄州
	Willoughby	俄亥俄州		Charleroi	宾夕法尼亚州
	<i>Libbey Glass</i>	Shreveport		路易斯安娜州	
Toledo		俄亥俄州			

<sup>32</sup>重点特殊玻璃工厂的定义为，在「2001 年玻璃工厂名录」(2001 年国家玻璃预算)与工业技术办公室出版的「美国玻璃工业能源与环境概况」(2002 年美国能源部)中被归为特殊玻璃“重点制造商”的公司。这些重点工厂所在地点的信息是取自「2004 年玻璃工厂名录」(2004 年国家玻璃预算)与各公司的网站。

## 附录二：工厂员工可采行的基本节能作法

工厂各级人员应该注意能源的使用和所属组织单位的能效目标。工作人员应在就日常通用的节能做法与技能，接受培训。此外，工厂应定期评估能效成果并将成果与所有员工沟通，表现杰出时应将以表扬。员工可进行的简单任务，举例如下(Caffal 1995)。

- 避免不必要的能源消耗。在不影响生产、质量或安全的情况下，没有使用电机、风扇和机器时，就要将其关闭，尤其是一天工作结束或要换班时、或休息时。同样地，还不需要使用设备时，不用太早启动，以便在启动时能达到正确的设定（温度，压力）状态。
- 关闭不必要的灯光；尽可能使用日间采光。
- 办公室或空调建筑物的暖通空调系统，在周末及夜间可使用自动定时设定。
- 出现水（经过处理的水及水龙头的水）、蒸汽、或压缩空气渗漏现象时，要进行通报，以便尽早修复。检查是否有渗漏现象时，最好找一个安静的时间，如周末。
- 留意无人的地方，暖气或冷气是否有开启，如有，就要加以关闭。
- 检查暖气设定的温度是否过高，冷气设定的温度是否过低，如有，就要以开启门窗、而不是降低暖气温度设定的方式来降温。
- 检查设备的压力和温度有没有设定过高。
- 避免门窗密封不佳，可避免冷空气或暖空气的流失。
- 对高耗能设备进行定期保养。
- 确保工艺加热设备的隔热能发挥效果。

## 附录三：能源管理评估标准导则



### 能源管理计划评估标准

#### 引言

美国环保署根据能源之星合作伙伴尝试过的数个成功做法，为设立与实施一套有效的能源管理计划，制定了导则。

体现在右图的这些导则，是架构在多项特定活动所含的七个基本管理要素之上。

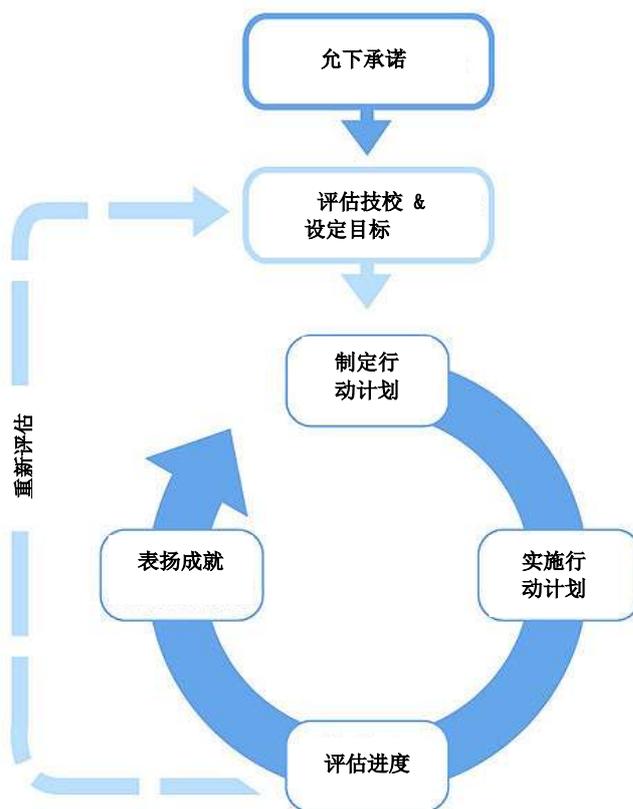
这评估标准的设计宗旨，在于协助组织及能源管理人员，将其能源管理做法与本指南中介绍的一些做法，进行比较。完整的导则可从能源之星网站中找到 <http://www.energystar.gov/>.

#### 如何使用这套评估标准

这套标准对能源之星能源管理导则的重点活动与实施的三个层次，做了提要：

- 没有证据支持
- 具备多数要件全面实施

1. 打印此评估标准。
2. 将自己组织单位的计划与导则的内容进行比较，找出最贴近单位计划的执行程度。
3. 将最贴近自己单位执行程度的单元格，用荧光笔标示出。视觉上，这样可以清楚地将自己的项目与能源之星能源管理导则做比较。  
识别要全面执行能源管理要件的必要步骤，并将这些步骤写在“下一步”栏位。



能源管理计划评估标准				
	没有证据支持或仅有少 许的证据	具备多数要件	全面实施	下一步
承诺要持续提高能效				
能源主任	公司总部没有提供资源 分散式管理	公司或组织提供的资源未 获得授权	公司赋予领导人权限并获 得高阶主管的支持	
能源小组	公司缺乏能源网络	非正式的组织单位	由跨部门的团队，积极领 导能源管理计划	
能源管理政策	缺乏正式的政策	参考环境或其他政策	有自成一套、获得高阶主 管支持的能效政策	
绩效评估与机会评估				
采集追踪数据	几乎没有测量/没有跟踪	局部或部份测量/跟踪/报 送	所有工厂向总公司提报， 由总公司进行汇整/分析	
归一化	没有	有单位测量或根据气候做 调整	全部数据均经过有意义的 调整，才送交公司进行分 析	
建立基准	没有基准	成立很多设施	将公司评估的基准年与公 制单位标准化	
标准	没有或仅在相同的地点 进行历史性的比较	在公司多个地点，进行内 部比较	定期进行内外部的比较分 析	
分析	没有	曾试着找出并改正出电压 尖峰脉冲	识别趋势、峰谷与成因	
技术协助与审计	没有	工厂内部评审	由专业的跨部门团队评审	
设定绩效目标				
确定范围	缺少量化目标	工厂或公司设定短期目标	工厂及公司设定长期及短 期目标	
预估改善潜力	没有	只有特定项目会根据几位 供应商的预估	工厂及公司会根据经验进 行预估	
设定目标	没有	定义不严谨或选择性执行	组织内各层级有具体、可 量化的目标	
制定行动方案				
定出技术阶段做 法及目标	没有	有机会的话就由工厂来定	定出各个阶段的详细目 标，同时搭配时间表，以 避免出现误漏	
明确职责与资源	没有或以专案方式进行	有兴趣的非正式员工可以 争取经费	确定内/万部的职责及经费	

**能源管理计划评估标准**

	没有证据支持或仅有少 许的证据	具备多数要件	全面实施	下一步
<b>实施行动方案</b>				
制定沟通计划	没有	针对偶尔使用的一些团体 设计工具	定期向所有利害关系人报 告进度	
提高意识	没有推广能效	定期提到能源管理计划	组织从上到下，全面支持 能源管理目标	
培养能力	仅有间接培训	对重点人员提供培训	就技术与最佳实践，提供 广泛的培训/认证	
动力	与用能单位及人员没有 任何联系或偶尔联系	对表现差的单位提出警告 或定期提醒	提供表扬、奖励金、绩效 奖励	
跟踪及监测	没有监测表现的系统	工厂进行年度监测	定期检视与更新中央系	
<b>评估进展</b>				
测量结果	没有评估	历史资料比较	将目标、计划、竞争对 手，与使用量与成本，进 行比较	
修正行动方案	没有检讨	非正式评估进展	根据结果、反馈与业务因 素，修正计划	
<b>表扬成就</b>				
给予内部奖励	没有	识别成功的项目	对有贡献的个人、团队、 工厂，进行表扬	
争取外部表扬	没有	非预期的表扬或由供应商 表扬	政府/第三方机构表扬成就	



CHANGE FOR THE  
BETTER WITH  
ENERGY STAR

能源管理计划评估标准

## 解读结果

将你的计划与前述标准所列的执行水平进行比较，应该有助于你识别你计划的优点与缺点。

美国环保局观察到，那些已全面实施导则中所列做法的组织，收获最大。可能的话，我们鼓励各组织彻底执行。

用荧光笔在上述标准的单元格做标记，就容易看出你的能源管理计划，相较于导则所列的各管理要素，是否有过多或不足的情况。可以拿这个能源管理计划表与你组织单位的人员与管理人员，进行讨论。

利用上述标准格的“下一步”栏位，为改进组织单位的能源管理做法，制定行动方案。

## 资源及协助

能源之星提供多种工具与资源，有助于组织强化其能源管理计划。

下列是根据能源之星，你可采行的“下一步”步骤：

1. 针对能源管理计划中还没彻底执行的地方，将导则中相关内容研读一遍
2. 如果还没准备好，可先登记成为能源之星合作伙伴。
3. 研读能源之星工具与资源章节。
4. 想找更多有关特定行业的能源管理信息，请上  
<http://www.energystar.gov/industry>.
5. 可联系能源之星人员获取更多资源。

## 附录四：能源管理团队成立应办事项检查表

要成立并持续支持一个有效的能源管理团队，可参考下面的检查表，了解有哪些重点工作要做看要做。想了解更多、更详细的信息，可咨询美国环保署的“团结来节能” (U.S. EPA 2006)，网址为 <http://www.energystar.gov/>

<b>成立能源管理小组</b>		√
能源主任	必须能够与各层级(从维护人员、工程师到财务人员)的人员合作。由管理高层授予高级人员权限。	
高级管理人员	能源主任要向高级主管或高级管理委员会负责。高级人员或委员会提供指引及协助。	
能源小组	成员来自各业务单位、营运/工程单位、工厂与地区办公室，形成能源网络，提供(公共关系、信息技术及人力资源方面)支持。	
工厂参与	工厂管理人员与电机人员就节能目标与机会进行双向沟通。位于工厂内的能源小组可与技术人员合作，就地推动。	
伙伴参与	咨询人员、供货商、客户与合资企业伙伴。通过更低的能源价格实现节能。	
能源小组组织架构	将部门与集中领导分离，并入组织架构及已建立的网络。	
资源与职责	将能源项目并入一般的预算周期，成为预算的一部份。能源主任在涉及用能的项目上，具有决策权。能源小组成员要在能源项目投入时间。	
<b>成立能源管理小组</b>		√
管理人员简报	高级管理人员已就本计划的好处、建议做法及能源小组成员人选，进行简报。	
规划	能源小组初次会面，为正式成立预做准备。	
战略	能源小组初次会面，为正式成立预做准备。	
计划启动	已在组织启动会议上，宣布能源网络成立、介绍能源主任、公布能源政策并展示实例。	
能源小组规划	已制定工作规划、职责、年度行动计划。	
工厂参与	已在工厂进行能源审计与报送，并找出改善能效的机会。	

<b>培养能力</b>		√
跟踪与监测	已建立跟踪能源绩效与最佳实践实施情况的制度。	
交流知识	已举办能源高峰会与能源园游会之类的活动，促进非正式知识的交流。	
提高意识	已通过海报、内部网站、调研与比赛活动，增加对能源效率的了解。	
正式培训	已识别合适人选、确定需求、举办培训。鼓励参加能源之星的在线会议。为重点成为设定专业发展目标。	
外包	已评估外包需求并制定外包政策。	
跨公司的人际网	已追求公司以外成功的机会，并分享公司内成功的经验，透过信息交换，学习他人的经验。	
<b>持续支持小组</b>		√
有效沟通	已建立全公司上下对能源效率的意识，并在公司出版的报告或通讯内容，加入能效表现信息。	
表扬与奖励	已设立实施内部奖励，由高级管理人员进行表扬。	
外部表扬	已建立单位组织在能源管理计划的公信力。由其他单位颁发的奖章可增加自己单位的竞争优势。	
<b>维持小组的工作动能</b>		√
接续	已制定小组持续运作划，并将能效改善纳入组织文化。	
衡量成功	完成项目及人员持续发展，并达成组织单位能效持续提高的目标。	

## 附录五：提高工业能效的配套方案

本附录列出几个工业界可采行的能效支持做法，内容包含对方案或工具的简介，以及该方案针对的用户与网址等信息，内容包含美国联邦与各州办理的项目。通过网址可取得各项资源的进一步信息。虽然我们有意尽量提供完整的清单，但本清单上的信息可能会因时间的久远而有改变。

### 自我评估工具

#### **蒸汽系统自我评估工具 (Steam System Assessment Tool)**

简介： 用于评估蒸汽系统能效改进项目的软件包，具备经济分析功能。  
适用团体： 使用蒸汽系统的所有行业  
格式： 可下载的软件包 (13.6 MB)  
联系单位： 美国能源部  
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

#### **蒸汽系统概略性分析工具 (Steam System Scoping Tool)**

简介： 工厂管理人员可使用这个建制于电子数据表的工具，找出工业蒸汽系统的能效机会。  
适用团体： 所有使用工业蒸汽系统的组织单位  
格式： 可下载的软件(Excel)  
联系单位： 美国能源部  
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

#### **3E Plus: 优化锅炉蒸汽管线保温的工具 (Optimization of Insulation of Boiler Steam Lines)**

简介： 这个可供下载的软件，可以用以确定锅炉系统能否通过对其蒸汽管路进行保温，达到优化效果。这个软件可计算在不同运行条件下，保温厚度要多少，经济效益会最高，计算过程采用包含于软件内的一般保温材料的传热性能关系。  
适用团体： 能源与工厂管理人员  
格式： 可下载的软件  
联系单位： 美国能源部  
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

### **MotorMaster+ 工具**

简介： 这个高效电机选择与管理工具，内含二万多种交流电机。这工具包含电机库存管理工具、维护记录跟踪、效率分析、节能量评估、能耗计量、环境报告功能。

适用团体： 所有行业

格式： 可下载的软件(也可以订购光盘)

联系单位： 美国能源部

网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

### **ASD Master: 可调速驱动评估法及应用工具 (Adjustable Speed Drive Evaluation Methodology and Application)**

简介： 本软件有助于确定，使用可调速驱动的经济可行性，并可估计使用可调速驱动器后，可省下多少的电力，同时有个内含各款标准驱动器的数据库供查询。

适用团体： 所有行业

格式： 软件包(需付费)

联系单位： 美国电力研究所(EPRI), 电话 1-800- 832-7322

网址： <http://www.epri-peac.com/products/asdmaster/asdmaster.html>

### **1-2-3 电机管理法工具 (The 1-2-3 Approach to Motor Management)**

简介： 这个按部就班的电机管理指南电子数据表，对电机服务中心、电机供应商、电力公司、能效组织单位等，在沟通良好的电机管理所能带来的财务收益上，能有助益。

适用团体： 所有行业

格式： 可下载的微软 Excel 电子数据表

联系单位： 国际能效协会，电话 1-617-589-3949

网址： <http://www.motorsmatter.org/tools/123approach.html>

### **AirMaster+: 压缩空气系统评估分析软件工具 (Compressed Air System Assessment and Analysis Software)**

简介： 这个建模工具，通过运营和维护做法上的改善，可大量提高压缩空气系统的能效及性能。

适用团体： 所有使用压缩空气系统的行业

格式： 可下载的软件

联系单位： 美国能源部

网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

### **风机系统评估工具(Fan System Assessment Tool ， 简称 FSAT)**

简介： 风机系统评估工具（FSAT）能将风机系统优化后所能带来的潜在效益，加以量化。该工具能计算风机系统的能耗量、确定风机系统的能效，并对升级后的风机系统所能带来的潜在在节能量，加以量化。

适用团体： 所有风机系统的用户

格式： 可下载的软件

联系单位： 美国能源部

网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

### **热电联产应用工具(Combined Heat and Power Application tool ， 简称 CHP)**

简介： 热电联产应用工具(CHP)可以协助工业用户，评估在加热系统如燃烧燃料的炉、锅炉、烤炉、取暖器与热交换器上，使用热电联产的可行性。

适用团体： 所有热电用户

格式： 可下载的软件

联系单位： 美国能源部

网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

### **2004 年泵系统评估工具(Pump System Assessment Tool 2004 ， 简称 PSAT)**

简介： 本工具可协助工业用户评估泵系统运行时的效率。PSAT 是使用液压学会数据库中有关系性能的数据，以及 MotorMaster+数据库中有关系电机性能的数据，来计算潜在节能量与可节约的成本。

适用团体： 所有泵的工业用户

格式： 可下载的软件

联系单位： 美国能源部

网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

### **工厂能耗快速分析工具(Quick Plant Energy Profiler ， 简称 Quick PEP)**

简介： 工厂能耗快速分析工具(或称 Quick PEP)，是美国能源部开发的一套在线软件工具，美国工业工厂管理人员可用这套工具，找出该工厂能源采购与使用的方式，同时找出潜在的节能量与可节约的成本。Quick PEP 的设计，可让用户在一个小时内，完成工厂用能分析。Quick PEP 在线教程对工厂需要提供哪些信息以便完成分析，附有说明。

适用团体： 所有工业工厂  
格式： 在线软件工具  
联系单位： 美国能源部  
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

### **能源之星管理者工具(ENERGY STAR Portfolio Manager)**

简介： 这个在线软件工具，有助于评估建筑物的能效表现，评估方法是将该建筑的能效表现与全国建筑市场上的建筑，进行比较，给予 1 至 100 的排名。实测能耗值是构成能效表现排名的基础。

适用团体： 所有建筑用户或建筑所有人  
格式： 在线软件工具  
联系单位： 美国环保署  
网址： [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate\\_performance.bus\\_portfoliomanager](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate_performance.bus_portfoliomanager)

## **评估及技术协助**

### **工业评估中心(ENERGY STAR Portfolio Manager)**

简介： 中小型制造厂可享有免费的能效与废弃物评估。能源审计是由美国境内 30 所大学工程学系的教授与学生，就该工厂的能效表现进行评估，并提出能效改进的建议做法。

适用团体： 年销售额不到 7,500 万美元、工厂员工不到 500 人的中小型的制造厂。  
形式： 工程系教授与学生造访工厂，并准备一份含有提高能效、减少废弃物量与提高生产力等方面建议做法的书面报告。

联系单位： 美国能源部  
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/iacs.html>

### **现在就节能评估(Save Energy Now Assessments)**

简介： 这是项由美国能源部就工厂能效所进行的评估，目的在协助美国境内的制造厂，找出立即可节能与节省成本的做法，评估重点放在高能耗系统，如加热、蒸气、泵、风机与压缩空气系统。

适用团体： 大型工厂  
形式： 在线申请  
联系单位： 美国能源部  
网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/>

### **制造业扩展伙伴关系(Manufacturing Extension Partnership , 简称 MEP)**

简介： 制造业扩展伙伴关系是由分布美国境内 400 多处非营利中心所组成的全国性网络，旨在提供中小型制造商技术协助。单一中心可提供适合该工厂的专业知识与服务，包括清洁生产与能效技术等重点。

适用团体： 中小型工厂

形式： 与各地制造业扩展伙伴关系办公室直接联系

联系单位： 美国国家标准技术研究院, 电话 1-301-975-5020

网址： <http://www.mep.nist.gov/>

### **小型企业发展中心(Small Business Development Center , 简称 SBDC)**

简介： 美国小型企业管理局(SBA) 负责管理小型企业发展中心项目，通过分布于全国的 58 个中心，提供小型企业管理上的协助。如果小型企业无法负担咨询费用的话，小型企业发展中心项目在金融、市场营销、生产、组织管理、工程与技术等各方面，可提供咨询、培训与技术协助。

适用团体： 小型企业

形式： 与当地的小型企业发展中心直接联系

联系单位： 美国小型企业管理局，电话 1-800-8-ASK-SBA

网址： <http://www.sba.gov/sbdc/>

### **能源之星(ENERGY STAR) –帮助企业选购高能效产品**

简介： 能源之星是用于识别高能效的办公设备，并授予这些设备节能标识的项目。选购产品时，要选择有能效之星标识者，因为这些产品的能效表现符合美国环保署能效指南的规定。办公设备包括计算机、复印机、传真机、显示器、多功能一体机、打印机、扫描仪、变压器和水冷却器等。

适用团体： 使用附有能效标识设备的用户

形式： 网站

联系单位： 美国环保署

网址： [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=business.bus\\_index](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=business.bus_index)

## 培训

### **能源之星(ENERGY STAR)**

简介： 为了推广先进的能源管理系统，参与“能源之星”项目的企业能源管理人员，将有机会与其他的能源管理人合作。人际网络会议每月举办一次，重点放在培养与强化管理人员在制定实施企业能源管理项目上的具体战略。

适用团体： 公司与工厂的能源管理人员

形式： 通过网站的电话会议

联系单位： 美国环保署气候保护合作伙伴处

网址： <http://www.energystar.gov/>

### **最佳实践项目(Best Practices Program)**

简介： 美国能源部的最佳实践项目提供培训和培训材料，为提高工厂设施(压缩空气与蒸汽)与电机系统(包括泵)能效的努力，提供支持。各地定期会举办培训。有针对上述系统为期一天到数天的培训课程。最佳实践项目也有其他工业用能设备方面的培训，通常与会议和并办理。

适用团体： 技术支援人员、能源管理人员、工厂管理人员

形式： 不同形态的研习会(为期一天或数天的研讨会)

联系单位： 美国能源部工业技术办公室

网址： <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/training.html>

### **压缩空气挑战(Compressed Air Challenge®)**

简介： 非盈利性质的“压缩空气挑战”，通过遍及美国与加拿大各地的赞助单位，就提高压缩空气系统的能效，开发并提供相关培训。培训层次有三级：(1)基础级(一天)；(2)进阶级(二天)；(3)领有合格证数的专业人士(三天半，外加测验)。培训侧重对工厂设施能效改善行动计划的实施，提供支持。

适用团体： 压缩空气系统管理人员、工厂工程师

形式： 培训研习会

联系单位： 压缩空气挑战： [Info@compressedairchallenge.org](mailto:Info@compressedairchallenge.org)

网址： <http://www.compressedairchallenge.org/>

## **财务协助**

下面对联邦政府有提供补助的重点能效投资项目，做了摘要。美国很多州对能效项目，也有提供资助或赋税优惠(各州计划如下述)。不过，这些项目会随时间改变，因此，在决定是否要进行投资前，建议最好先查阅最新的政策为何。

### **未来的工业(Industries of the Future) - 美国能源部**

简介： 美国能源部与九个重点行业建立合作研发伙伴关系，合作内容包括为特定行业与重点技术的技术发展，定出规划，并分担这些行业各项研发项目的费用。

适用团体： 入选的九大行业：农业、铝、化学、林产品、玻璃、金属铸造、采矿、石油与钢铁。

形式： (根据行业别或技术) 主动询问

联系单位： 美国能源部工业技术办公室

网址： <http://www.eere.energy.gov/industry/technologies/industries.html>

### **发明与创新(Inventions & Innovations)**

简介： 这个项目通过费用分担，对以下各方面提供财务协助：(1)对富有创意的节能构想及发明，在初期制定技术性能时(高达 75,000 美元)；(2)单项技术的原型开发或商业化(高达 250,000 美元)。项目由合作伙伴执行，同时必须处理个行业面临的最优先问题。

适用团体： 所有行业(以高能耗产业为重点)

形式： 主动询问

联系单位： 美国能源部工业技术办公室

网址： <http://www.eere.energy.gov/inventions/>

### **美国小型企业管理局 (Small Business Administration ， 简称 SBA)**

简介： 针对小型企业的投资(包含高能效工艺技术)，美国小型企业管理局提供了多种贷款与贷款保证项目。

适用团体： 小型企业

形式： 与美国小型企业管理局直接联系

联系单位： 美国小型企业管理局

网址： <http://www.sba.gov/>

## 美国各州与地方办理的项目

美国不少州政府和地方政府设有行业及业务发展项目，在企业评估或考虑是否要资助高能效工艺技术或建筑物上，可提供协助。请与当地州政府和地方政府联系，确定他们能够提供企业或组织哪些税收优惠、资金补助或其他方面的协助。此表不算详尽，表列的地点仅能作为寻求资金来源时，优先考虑的来源。这些项目会随着时间的久远而有变化，所以决定投入资金前，建议先查看现行的政策。

### **各州电机与驱动器能效项目摘要**

简介： 这份报告对各州鼓励使用 NEMA Premium<sup>®</sup>电机、可调速驱动器、电机管理服务、系统优化及其他能源管理战略相关的项目，做了简介。

适用团体： 所有行业

联系单位： 国际能效协会(CEE)，电话 1-617-589-3949

网址： <http://www.motorsmatter.org/tools/123approach.html>

### **加州 – 公共利益能源研究项目(Public Interest Energy Research, 简称 PIER)**

简介： 公共利益研究项目针对在加州境内执行的能效、环保、可再生能源项目，提供资金。虽然电力为该项目的重点，化石燃料项目也能申请。

适用团体： 加州境内的特定行业(如食品业)

形式： 主动提出申请

联系单位： 加州能源委员会，电话 1-916- 654-4637

网址： <http://www.energy.ca.gov/pier/funding.html>

### **加州 – 能源创新小额补助金计划(Energy Innovations Small Grant Program, 简称 EISG)**

简介： 能源创新小额补助金计划对在加州开发具有创新的能源技术，提供小额补助金，补助金上限为 75,000 美元。

适用团体： 加州所有行业

形式： 主动提出申请

联系单位： 加州能源委员会，电话 1-619-594-1049

网址： <http://www.energy.ca.gov/research/innovations/index.html/>

### **加州 – 节能设计项目(Savings by Design)**

简介： 建筑物业主及他们的设计团队，在设计高能效建筑时，可向该项目申请协助。新建筑的能效超越最低门槛时，即比加州 Title 24 标准的规定要高出 10%以上，建筑物业主即可获得奖励金。每栋独立建筑物或个别电表

的奖励金上限为 150,000 美元。节能量达到 15%及以上时，设计团队可获得奖励金。社稷团队在每个项目可拿到的奖励金上限为 50,000 美元。

适用团体： 新的非住宅兴建项目或重大改造项目。

形式： 全年开放申请

网址： <http://www.savingsbydesign.com/>

### 印地安纳州 – 工业项目(Industrial Programs)

简介： 印第安纳州商务部的能源政策处设有两个工业项目。工业能源效率基金（IEEF）为零利率贷款计划（可贷款达 250,000 美元），目的在于协助印第安纳州的制造商提高制造工艺的能源效率。该基金的用途是汰换或改造现有设备，或是用于购买新设备，作为降低能耗的工艺流程/工厂扩建工程之一。分布式发电补助金项目（DGGP）提供的补助金额高达 30,000 美元，或者可补助符合要求费用的 30%，条件是分布式发电的能效要高达 50%，费用包含安装及研究分布式发电技术(如燃料电池、微型燃气轮机、热电联产和可再生能源)。其他项目对公司使用生物质能源、研究或建筑节能方面，也提供支持。

适用团体： 印地安纳州内的所有行业

形式： 工业能源效率基金全年开放申请，并请直接联系分布式发电补助金项目

联系单位： Energy Policy Division, 1-317-232-8970.

网址： <http://www.iedc.in.gov/Grants/index.asp>

### 爱荷华州 – 替代能源循环贷款计划(Alternate Energy Revolving Loan Program, 简称 AERLP)

简介： 替代能源循环贷款计划是用于鼓励该州可再生能源生产设施的发展。

适用团体： 所有会使用可再生能源的用户

形式： 全年受理提案金额不到 50,000 美元的申请书；超过 50,000 美元者，每季度受理一次。

联系单位： 爱荷华州能源中心，电话 1-515-294-3832

网址： <http://www.energy.iastate.edu/funding/aerlp-index.html>

### 纽约州 – 工业研发项目(Industry Research and Development Programs)

简介： 纽约州能源研发局(NYSERDA)提供纽约企业多项奖励补助项目，各项目着重的课题不同，包括工艺流程技术、热电联产、峰值负载减少与控制系统。

适用团体： 纽约州的所有行业  
形式： 主动提出申请  
联系单位： NYSERDA，电话 1-866-NYSERDA  
网址： [http://www.nyserda.org/programs/Commercial\\_Industrial/default.asp?i=2](http://www.nyserda.org/programs/Commercial_Industrial/default.asp?i=2)

### **威斯康辛州 – 节能为重点(Focus on Energy)**

简介： 由能源顾问就找出节能机会并进行评估、推荐节能行动、制定企业能源管理计划、整合全国与各州能源项目等方面，提供免费的咨询服务。该项目同时也提供培训。

适用团体： 威斯康辛州内的所有行业  
形式： 全年开放申请  
联系单位： 威斯康辛州行政处，电话 1-800-762-7077  
网址： <http://focusonenergy.com/portal.jsp?pageId=4>